LEÇONS

SUR LES

CHEMINS DE FER.

LEÇONS FAITES

SUR

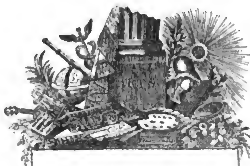
LES CHEMINS DE FER

A

L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

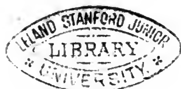
EN 1833 — 1834,

PAR M. MINARD, PROFESSEUR.



PARIS,
CARILLAN-GŒURY, LIBRAIRE
DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, n° 41.

1834.



LEÇONS FAITES

SUR LES

CHEMINS DE FER

A

L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

EN 1833 — 1834.

PREMIÈRE LEÇON.

Le but des chemins de fer ou railways est de diminuer la résistance qu'éprouve le roulage des voitures, de pouvoir effectuer les transports à meilleur marché et avec plus de vitesse.

Division des chemins de fer.

On peut distinguer; 1° les chemins de fer provisoires pour les ateliers de construction : 2° les railways employés au transport des marchandises : 3° les chemins de fer destinés aux voyageurs. Le genre de construction et le tracé de ces trois espèces de chemins varient selon leur destination.

Railways provisoires.

Les premiers étant d'un emploi momentané doivent être faciles à construire et à déplacer; ce sont des barres de fer brut, telles que le commerce les fournit, supportées par des pièces de bois de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'équarrissage : celles-ci sont placées tantôt bout à bout sous toute la longueur des barres (*canal de Bourgogne*, *travaux de Cherbourg*, *du Soccoa*, fig. 1 et 1 bis); tantôt de distance et en travers (*ateliers de Roanne*, *du pont-canal de l'Allier*, *de la Loire*, *du railway de Leeds à Selby*, fig. 2 et 3).

Dans le premier cas les barres sont en général de fer plat, fixées au bois par des clous ou des vis à tête noyée; dans le second cas les barres sont, ou carrées et fixées de la même manière, ou plates et posées

de champ dans des entailles où elles sont serrées par des coins de bois.

Deux lignes parallèles de ces barres, qui prennent alors le nom de Rails, forment une voie plus ou moins large.

Dimensions moyennes de quelques Rails de chemins de service.

NOMS DES ATELIERS.	DIMENSION DES BARRES		POIDS d'un CHARIOT chargé.	DIST^{ce} moyenne des TRAVERSES	OBSERVATIONS.
	verticales	horizont.			
			k.	m.	
Pont-canal de Digoin. .	0,060	0,016	4,000	1,00	
Pont-canal de l'Allier. .	0,070	0,009	1,400	1,00	
Pont de Roanne.	0,070	0,015	1,800	1,00	
Leeds et Selby.	0,030	0,030	2,500	1,10	
Soccoa.	0,012	0,030	2,800	. . . . .	Rails sur longrines de 0,15 sur 0,15.
Cherbourg.	0,030	0,050	6,000	. . . . .	Rails sur longrines de 0,20 sur 0,15
Canal de Bourgogne.. .	0,005	0,040	. . . . .	. . . . .	Rails sur longrines.

Railways pour marchandises.

Les railways destinés au transport des marchandises ont été exécutés principalement entre des mines ou des carrières et un lieu d'embarquement.

La construction de ces railways étant généralement semblable à celle des chemins destinés aux voyageurs, et n'en différant qu'en ce que ces derniers sont établis sur une plus grande échelle; ce que nous allons dire s'appliquera aux deux espèces de chemins: lorsqu'il y aura lieu de les distinguer nous en préviendrons.

Les rails des chemins de fer destinés aux marchandises ont été faits successivement en bois recouvert de fer, puis en fonte, puis en fer forgé.

Nous avons dit un mot des rails en bois et en fer.

Les rails en fonte ont eu d'abord la forme d'une ornière, ou simplement d'une feuillure dans laquelle passaient les roues.

Plate-rails.

Les Anglais les appelaient *Trame-road, Rail-road.* C'est ainsi qu'ont été exécutés beaucoup de chemins de fer d'Angleterre qui existent encore aujourd'hui dans le même système.

Les rails des *trame-roads* étaient fixés sur des traverses en bois par des clous à têtes fraisées, fig. 5, ou par un rebord saillant en dessous

à leurs extrémités; on les plaçait aussi sur des pierres appelées *stones, dez*; on les y fixait avec de forts clous ou chevillettes.

Leurs dimensions.

Ces rails en fonte de $0^m,91$ de longueur, étaient formés en général d'une partie horizontale plate de $0^m,09$ de largeur sur $2^c \frac{1}{2}$ d'épaisseur, avec un rebord supérieur vertical de $0^m,04$ quelquefois plus haut de $0^m,03$ à $0^m,04$ au milieu qu'aux extrémités, et quelquefois aussi, mais moins souvent, d'une nervure verticale inférieure ayant $0^m,07$ de saillie au milieu et venant à rien aux deux bouts, *fig.* 4.

La partie horizontale portait la roue; le rebord supérieur l'empêchait de quitter le rail, il se trouvait du côté de l'axe de la voie pour repousser les graviers lancés par les pieds des chevaux, enfin la partie verticale en dessous n'avait d'autre but que de fortifier la première.

Jonction des rails.

Les rails étaient posés bout à bout; aux extrémités de chacun d'eux, étaient ménagés deux petits trous rectangulaires qui formaient par leur réunion un vide carré; on y enfonçait un clou qui retenait deux rails à la fois sur un stone et dont la tête était noyée dans la partie horizontale.

La largeur de la voie variait de $0^m,70$ à $1^m,50$; elle était en empierrement ou en pavés.

Frottement.

Deux expériences de M. Wood indiquent que le frottement total sur les plate-rails bien dressés était de $\frac{1}{196}$ de la pression. Le rapport du diamètre de la roue et de l'essieu étant $\frac{1}{14}$.

Inconvéniens.

Il est inutile d'insister sur cette forme de rails abandonnée dans tous les chemins de fer construits récemment, parce qu'elle favorise le séjour de la poussière, de la boue et de l'eau dans l'ornière; ce qui augmente le frottement et hâte la détérioration de la fonte.

Avantage.

Cependant ce système donnait un grand avantage, celui de pouvoir conduire les waggons (voitures qui parcourent un chemin de fer) sur tout autre chemin ordinaire. Cet avantage, perdu dans le système des rails saillans, est assez grand pour avoir engagé des ingénieurs à proposer des trame-roads en pierres plates dures, suffisamment larges pour que les roues puissent y être maintenues sans exiger une trop grande attention du voiturier. Ce système a été exécuté à Londres sur 3000^m de longueur et en Ecosse avec des plaques épaisses en fonte.

Plate-rail en pierre.

Le Commercial-road de Londres, *fig.* 6, est fait avec des pierres de granit (d'Aberdeen en grande partie) ayant $1^m,10$ sur $0^m,45$, et environ $0^m,30$ d'épaisseur: elles sont taillées sans démaigrissement dans

le bas; on les a posées sur un fond ferme de ciment et gravier, sans aucune interposition entre les joints verticaux.

Frottement sur le granit.

Par un beau temps, les pierres étant neuves et balayées, on a trouvé que la résistance d'un chariot ordinaire pesant 4 tonneaux avec sa charge était $\frac{1}{185}$ de la pression. Les détails de cette expérience manquent d'une donnée essentielle, le rapport des diamètres des roues et de l'essieu : on peut le supposer, pour les chariots de Londres, de $\frac{1}{10}$; (il est de $\frac{1}{15}$ pour les waggons des railways).

Si on suppose que la boue et la poussière augmentent la résistance du double, on aurait $\frac{1}{90}$ de la charge pour résistance, ce qui permettrait d'exécuter les transports sur les routes où il y a peu de pente avec trois fois moins de chevaux. Cet avantage est considérable; mais il faudrait de grands capitaux pour établir des plate-rails de ce genre dont le degré d'usure n'est pas encore connu : on doit remarquer que la résistance du roulage irait toujours en augmentant dès qu'il y aurait un commencement d'ornières; et on ne voit pas comment on en ferait les réparations, à moins de remplacer les pierres ou de les tourner sur chaque face successivement.

Degré d'usure inconnu.

Je n'ai aperçu aucune trace de roues sur le Commercial-road de Londres en activité depuis cinq ans; les jantes étant bien moins larges que les dalles de granit, les roues usent la pierre également en passant tantôt sur un point, tantôt sur un autre.

Edge-rails.

Les inconvénients des plate-rails ont depuis long-tems engagé les ingénieurs à donner aux rails une forme saillante au-dessus du sol sur laquelle ne puisse rester aucun corps étranger, et à employer des chariots avec roues à rebord : le premier essai exécuté comme chemin public, date de plus de 40 ans; c'est ce que les Anglais nomment *edge-rail*.

Il en a été de ce perfectionnement comme de beaucoup d'autres : l'idée la plus simple n'a pas été suivie la première. Puisqu'on cherchait à diminuer le frottement, puisqu'on voulait un chemin sans inégalités, il était plus naturel de l'établir au-dessus du sol qu'au même niveau et dans un angle rentrant qui retenait la boue et la poussière; cependant c'est dans ce dernier système qu'ont été exécutés plus de 400,000 mètres de railways en Angleterre.

Les premiers rails saillans ont été faits en fonte d'environ $1^{m},15$ de longueur. D'abord, la section transversale était presque un rectangle; puis

après on donna plus de largeur dans le dessus, afin d'offrir plus de surface au contact de la roue; cette largeur allait en diminuant par le bas et finissait par un renflement pour fortifier l'arête inférieure, fig. 20 : enfin la section présenta la forme d'un T, et c'est le type général des rails qu'on fait aujourd'hui ; à savoir, une partie plate horizontale sur laquelle porte la roue et une partie verticale en dessous pour fortifier la première.

Forme de type général.

Dans le sens de la longueur, on fit les rails courbes en dessous, fig. 8, pour ménager la matière et offrir une égale résistance en quelque point que fût la charge qu'ils avaient à supporter; ainsi ils avaient plus d'épaisseur au milieu qu'aux extrémités.

On a dit que cette courbe devait être celle d'un solide d'égale résistance, c'est-à-dire une ellipse ; cela ne serait vrai qu'autant que les rails seraient posés librement sur les appuis; mais comme ils sont quelquefois liés entre eux, et toujours fortement retenus dans les chairs, la question est un peu différente.

Courbe d'égale résistance non motivée.

Le mode de fixer les extrémités du rail est un point très important.

Fixation des extrémités du rail.

On a d'abord terminé les rails par des espèces d'oreilles qui s'appliquaient sur les stones où on les fixait par des clous, fig. 7; dans ce système les rails étaient juxta-posés bout à bout. La charge portait en définitive sur les quatre extrémités des oreilles; pour peu que les surfaces supérieures de trois stones contigus ne fussent pas dans le même plan, les oreilles portaient à faux, et la rigidité de la fonte ne permettant pas au système de fléchir, les oreilles qui recevaient immédiatement l'action des waggons devaient rompre souvent.

L'idée vint d'interposer un troisième corps entre le rail et le stone afin d'atténuer une partie du choc, et on fit reposer les rails sur les stones par l'intermédiaire d'une pièce de fonte séparée nommée *chair*, *chaise*, *coussinet*.

Chair ou coussinet.

Ces chairs étaient fixés aux stones par deux chevillettes; l'extrémité de chaque rail posant sur le chair était de plus traversée par un clou horizontal passant dans les deux joues du chair, *fig.* 8.

On remarqua que les stones qui s'enfoncent plus ou moins sous le poids des chariots, s'inclinaient en avant et en arrière pendant le passage des waggons qui les pressaient, fig. 9, qu'alors l'extrémité d'un rail était relevée, tandis que celle du rail contigu était abaissée, d'où résultaient une saillie brusque à la surface supérieure du railway et un choc nuisible aux rails, aux roues des waggons et à la force motrice.

Pour diminuer cet inconvénient on fit joindre les rails à mi-fer en les

Jonction des rails à mi-fer.

taillant en sifflet et les croisant d'environ 0m,06, *fig.* 13. Le chair n'était plus traversé que par un seul clou horizontal qui passait dans le joint des deux rails; de plus, en abattant les angles de la partie horizontale sur laquelle s'appuient les rails, et en lui donnant une forme convexe *fig.* 11 et 23, le chair ne présentait qu'un point d'appui verticalement au-dessous du milieu du joint. Par cette disposition chaque rail portait sur cette sommité, et le stone pouvait s'incliner en avant ou en arrière sans que le point d'appui changeât bien sensiblement, ou au moins les deux rails descendaient ensemble.

Convexité des chairs.

On a varié cette disposition, mais en se rattachant à l'idée principale de faire appuyer les extrémités contiguës de deux rails sur un seul point, *fig.* 12 et 10.

Chairs avec coins.

On a aussi cherché à lier les rails aux chairs par un autre moyen que les clous qui les traversent, lesquels se pliant aisément ne fixaient pas assez solidement les rails, et offraient des difficultés pour être retirés lors des réparations. On a ménagé dans l'une des joues du chair un renfoncement rond ou carré dans lequel on fait entrer latéralement une partie en relief du rail; celui-ci est ainsi retenu au chair qui, lui-même fixé au stone, s'oppose au mouvement de bas en haut du rail.

Pour appuyer le rail contre le chair qu'il ne touche que par une seule joue, on chasse entre l'autre joue et le rail un coin en bois ou en fer; on l'introduit horizontalement et parallèlement à la longueur du rail dans une petite échancrure faite à la joue du chair pour donner entrée.

Cette manière de fixer les rails au chair rend très facile l'enlèvement des rails dans les réparations.

Systèmes divers de rails et chairs.

Plusieurs assemblages de chairs et de rails ont été conçus dans ce système, *fig.* 21, 22, 23, 14, 16, 24 et 24 bis.

On peut proposer beaucoup de formes pour les chairs et les joints des rails, et nous examinerons les principales conditions à remplir pour obtenir la stabilité du système lorsque nous aurons parlé de la substitution du fer malléable à la fonte dans les rails et de leur forme actuelle.

DEUXIEME LEÇON.

La dureté du roulage sur les railways en fonte et la fréquente rupture des rails firent songer à employer le fer laminé. Les premiers essais furent infructueux; mais en 1810 on proposa la forme de rails en fer malléable, qui est presque celle encore en usage aujourd'hui. **Rails en fer malléable.**

La fonte comparée au fer dans les rails a plusieurs inconvéniens. **Inconvéniens des rails en fonte.**

1° Les rails rompent fréquemment et subitement;

2° On ne peut leur donner pour longueur que la distance entre deux supports, parce que la fonte étant peu flexible, il serait impossible de faire porter un rail sur plus de deux stones à la fois : or, n'ayant qu'une petite longueur le choc résultant de la jonction de deux rails est plus répété.

3° Les rails en fonte offrant une dureté assez grande à leur surface, mais sur une petite épaisseur, lorsque celle-ci est usée la partie qu'elle recouvrait résiste très inégalement et devient bientôt raboteuse.

Quant à la force relative des rails en fonte ou en fer, si nous supposons qu'il s'agit d'une résistance statique et que les rails sont de section rectangulaire d'une hauteur *c* et d'une épaisseur *b*, la charge que peut porter dans le milieu un rail d'une longueur L entre les chairs sur lesquels il serait posé librement, sera **Résistance relative des rails en fonte et en fer.**

$$\frac{2}{3} R \frac{b c^2}{L} \text{ *},$$

R étant une fraction du poids de rupture pour l'unité de surface déterminée selon le degré de solidité qu'on croit suffisant. Si nous la déterminons ici d'après cette considération que la charge soit plus petite que celle qui commencerait à donner une flexion permanente et que nous la supposions de 7 k., 50 par millimètre carré pour la fonte, et de 6 k., 00 pour le fer, l'avantage sera du côté de la fonte.

Mais les rails ne sont pas seulement soumis à la simple pression des véhicules en repos, ils reçoivent aussi l'impulsion de ces masses animées de divers mouvemens. D'un autre côté, les rails sont en partie encastrés dans les chairs. Ces circonstances empêchent de faire l'application de la formule précitée, et il convient de consulter l'expérience acquise sur les railways en activité pour connaître la force des rails. Or il résulte de ce qui a lieu jusqu'à présent : **Les rails ne sont pas soumis à une simple pression.**

* Résumé des leçons de mécanique de M. Navier, pag. 70, 72.

Force des rails des chemins de fer en activité.

1° Qu'à Darlington (et quelques autres railways) des rails en fonte des dimensions suivantes, *fig.* 13,

Largeur en dessus.	0 m.,	055	pesant 22 k. le mètre courant.
Longueur entre les appuis. .	1,	150	
Hauteur moyenne.	0,	120	
Epaisseur réduite.	0,	026	

résistent au roulage de waggons pesant 4 to. et de locomotives de 8 to. ayant 4 m, 4 de vitesse.

2° Qu'à Liverpool des rails en fer des dimensions suivantes : *fig.* 16 et 14.

Largeur en dessus....	0, m.	055.	pesant 17 k. le mètre courant,
Longueur entre les appuis	0,	910.	
Hauteur réduite.	0,	083.	
Épaisseur réduite. . . .	0,	030.	

Sont trop faibles pour le roulage de ce chemin où passent des waggons de 5 to. et des locomotives de 11 à 12 to. ayant 8 m, 8 de vitesse, mais qu'on peut présumer qu'ils seraient suffisans pour le roulage du railway de Darlington ; et cette opinion est d'autant plus fondée que ce même chemin de Darlington est presque entièrement formé de rails en fer des dimensions suivantes :

Largeur en dessus. . . .	0 m,	055	pesant 14 k. le mètre courant,
Longueur entre les appuis.	0,	910	
Hauteur réduite.	0,	072	
Epaisseur réduite	0,	025	

Lesquels sont à la vérité reconnus trop faibles, mais cependant supportent le roulage actuel.

Les rails en fer de Liverpool pesant 17 k. seraient donc à peu près de même force que ceux en fonte de Darlington pesant 22 k., ce qui donnerait l'avantage au fer.

Si, d'après les grands résultats d'expérience précédents, nous voulons déterminer approximativement les dimensions à donner à d'autres rails de formes à peu près semblables, soumis à des roulages peu différens, nous poserons la relation

$$\frac{2}{3} R \frac{b c^2}{L} = P$$

P étant le plus grand poids en mouvement sur le milieu des appuis,

b et c l'épaisseur et la hauteur moyenne d'un rail,

L La distance des appuis,

Et *R* un coefficient de résistance dont nous déduirons la valeur des circonstances particulières au chemin de Darlington, c'est-à-dire en supposant que sur ce chemin la plus grande charge P=3,000 k., et en mettant à la place de *b*, *c* et L les dimensions des rails en fonte de Darlington d'une part, et celles des rails en fer de Liverpool de l'autre.

Valeur du coefficient de résistance R.

Les deux valeurs de R qu'on trouvera, l'une de $14^{k},4$ pour la fonte et l'autre de 20 k. pour le fer, étant substituées dans la formule, serviront à déterminer, pour chacun de ces métaux, les dimensions *b*, *c* et L des nouveaux rails.

La supposition de 3,000 k. pour la plus grande charge des rails relative au roulage du chemin de Darlington où les locomotives pèsent environ 8 to. peut s'expliquer ainsi qu'il suit:

Plus grand poids supporté par les rails.

La distance des appuis des rails étant plus petite que celle des essieux des roues, il semble qu'un rail ne peut jamais avoir à supporter plus du quart du poids d'une locomotive ou 2,000 k.; mais M. Wood fait observer avec raison que par suite de l'enfoncement des stones, les deux lignes de rails d'une même voie pouvant être inclinées en sens contraire cessent d'être comprises dans le plan tangent aux quatre roues; qu'en conséqnence il est possible qu'il n'y ait que trois roues qui portent ou même deux diagonalement: d'où il suit que le milieu d'un appui peut avoir à supporter instantanément la moitié du poids d'un waggon ou d'une locomotive, c'est-à-dire 4,000 k. sur le chemin de Darlington; mais comme cet effet est très atténué à l'égard des machines par les ressorts qui les soutiennent, nous avons réduit à 3,000 k. le maximum de la charge instantanée des rails. Nous verrons d'ailleurs plus tard que la vitesse peut augmenter la pression des masses qui pèsent sur les rails.

Si on veut appliquer la formule au chemin de Liverpool en supposant que les appuis conservent la distance $0,^{m}910$, que la hauteur des nouveaux rails doit être $0^{m},100$ et que la plus grande charge produite par les locomotives du poids de 12 to. est de 5,000 k. on aura pour déterminer l'épaisseur réduite *b*:

$$\frac{2}{3} \times 20^{k.} \times \frac{b\,(100)\,2}{910} = 5.000^{k.} \qquad \text{d'où} \qquad b = 34^{mm.}$$

Le poids de ces rails serait de 26 k. par mètre, ce qui se rapproche du poids des rails projetés pour les chemins de Londres à Birmingham et à Bristol.

Expériences sur la résistance des rails en fonte.

On a fait des expériences directes sur la résistance statique des rails ; voici un extrait de celles de M. Wood :

Des rails en fonte, fig. 20 et 13, pesant environ 22 k. par mètre, ont été posés et retenus comme à l'ordinaire dans des chairs fixés à des pièces de bois éloignées de $1^{m},15$.

Résultat d'une douzaine d'expériences.

Poids de rupture placés au milieu.	Maximum.	7000 k.	9700 k.
	Minimum.	5300	6900
	Moyenne...	6000	8000

La seconde colonne se rapporte à la rupture de rails obtenus en mélangeant le métal des premiers rails avec de la vieille fonte.

En fer.

Un rail en fer malléable de $4^{m},55$ de longueur, ayant partout la même section transversale, fig. 18, supporté par six chairs formant cinq divisions de $0^{m},91$ chacune, a été fixé solidement : 1° à chaque chair ; 2° aux deux chairs du milieu seulement. Dans les deux cas on l'a chargé et déchargé successivement de poids progressifs ; les flexions qui en résultaient, étaient non permanentes ou en partie permanentes. La flèche de courbure a été mesurée au-dessous des extrémités de la division du milieu sur laquelle les poids étaient appliqués. Le rail pesait 19 k. par mètre.

POIDS dans LE MILIEU.	LE RAIL FIXÉ			
	A TOUS LES CHAIRS.		AUX DEUX CHAIRS DU MILIEU.	
	Flèche totale.	Flèche permanente.	Flèche totale.	Flèche permanente.
k.	mm.	mm.	mm.	mm.
850	0,2	0,	0,2	0,
1,700	0,3	0,	0,4	0,
3.400	0,6	0,	0,9	0,
4,250	0,8	0,	1,2	0,
5,100	1,0	0,	1,4	0,1
5,900	1,2	0,1	1,7	0,2
8,500	1,7	0,2	2,9	2,0

Dépense relative.

Les prix de la fonte et du fer malléable étant à peu près en raison inverse des quantités de matières contenues dans un mètre courant de rails en fonte ou en fer, il y a presque égalité de dépense sous ce rapport ; mais

comme il faut un quart de chairs et de stones de plus pour les rails en fer, l'établissement de ces derniers peut coûter davantage.

Rails en fer généralement préférés.

Les rails en fonte ont donc encore quelques partisans pour le transport des marchandises, mais on leur a généralement substitué les rails en fer malléable, qui se détériorent moins promptement et qui sont exempts de rupture subite, inconvénient grave, surtout pour le transport des voyageurs.

Durée relative.

Quant à la durée, eu égard au frottement, il a été reconnu au chemin de Darlington qu'un roulage de 86,000 to. de marchandises dans un sens et de 52,000 to. de waggons et locomotives dans les deux sens pendant un an, avait fait perdre le même poids de $0^{k}\cdot226$ à un rail en fonte de $1^{m},22$ de longueur et à un rail en fer malléable de $4^{m},56$, de sorte que la fonte s'userait quatre fois plus promptement que le fer.

Cette observation, quoique délicate, est concluante en faveur du fer; il faudrait supposer l'erreur bien forte pour qu'il y eût parité entre les deux métaux.

Si on admet que le frottement a lieu sur une largeur de $0^{m},04$, et qu'un rail dont l'épaisseur a diminué de $0^{m},006$ est hors de service, on trouvera que les rails en fer pourront durer 38 ans tandis que les rails en fonte ne dureront que 9 ans. Cependant MM. Coste et Perdonnet ont vu des rails en fonte servant depuis 20 ans, mais ils étaient à moitié rongés.

Il est d'ailleurs à remarquer que des rails en fer gissant sur le terrain se couvrent promptement de rouille, tandis que ceux des railways fréquentés ont un brillant métallique à la surface touchée par les roues, et ne sont presque pas oxidés dans les autres parties; cette différence tient peut être à l'état magnétique dû au frottement continuel des roues.

Épreuves des rails.

Avant de poser les rails on les éprouve. Les rails du chemin de Liverpool ont supporté cinq tonneaux dans le milieu des appuis, et ceux du chemin de Roanne 2,000 k. tombant de $0^{m},70$ de hauteur et portant sur une longueur de rail de $0^{m},20$; il en a été de même au chemin de Lyon. Ces épreuves donnent souvent aux rails des courbures permanentes assez fortes ($0^{m},04$ à $0^{m},06$ de flèche); on les redresse difficilement sans les passer au feu, opération qui la plupart du temps rend l'épreuve illusoire : on ne peut donc éprouver que quelques rails, et seulement comme garantie de la qualité du fer employé à en faire un certain nombre.

Rails parallèles ou ondulés.

Deux formes principales ont été adoptées pour les rails en fer malléable. Les uns sont *parallèles*, c'est-à-dire de même section transversale sur toute la longueur; les autres sont *ondulés*, c'est-à-dire plus épais vertica-

lement au milieu des appuis que sur les chairs ; ils sont rectilignes en dessus et courbes en dessous.

Forme dite d'égale résistance.

On justifiait cette dernière forme, pour laquelle il a été pris un brevet d'invention, en disant qu'en suivant la courbure d'un solide d'égale résistance on épargnait de la matière. Mais les rails courbes en dessous, sans jouir des avantages qu'on leur attribuait, ont de grands inconvéniens.

Inconvéniens.

Altération du fer.

1° Il est difficile de les façonner au laminoir, et d'obtenir la courbure inférieure, sans altérer plus ou moins la contexture des fibres métalliques.

Sujétion dans la pose.

2° Les chairs ne pouvant se placer que sous la partie la plus mince, il faut une bien plus grande précision dans la pose des stones et des chairs, sujétion déjà assez grande.

Nombre d'appuis limité.

3° Si un rail faiblit, on ne peut le soutenir aux points intermédiaires : il en est de même si le terrain exige plus de points d'appui.

Ecoulement entravé.

4° Enfin l'écoulement transversal des eaux pluviales, qu'il est si important d'entretenir sur les chemins de fer, est entravé par la surépaisseur des rails, qui sont précisément plus bas dans le point où on peut établir les caniveaux d'écoulement.

Les avantages des rails ondulés sur les rails parallèles ne paraissent point prouvés ; les expériences comparatives de M. Wood indiquent trop peu de différence dans les résistances, pour faire donner la préférence aux uns ou aux autres. Voici un extrait de ses expériences :

Expériences sur leur résistance comparative.

POIDS dans le milieu du RAIL.	RÉSISTANCE D'UN RAIL DE 4,56 m. DE LONGUEUR, SOUTENU ET FIXÉ SOLIDEMENT SUR 6 CHAIRS, ESPACÉS DE 0,91 m.			
	ONDULÉ, PESANT 19 k,3. — (FIG. 19.)		PARALLÈLE PESANT 19k. — (FIG. 18.)	
	Flèche.	Flèche permanente.	Flèche.	Flèche permanente.
k.	mm.	mm.	mm.	mm.
8,500	0,	0,	0,2	0,
1.700	0,	0,	0,3	0,
3,400	0,7	0,	0,6	0,
4,250	0,9	0,	0,8	0,
5,100	1,1	0,	1,0	0,
5,900	1,2	0,	1,2	0,1
8,500	2,2	0,3	1,7	0,2

Dépense comparative.

Le mètre courant de rail parallèle, ayant pour section la section maximum des rails courbes de Liverpool, pèserait à peu près 20 k.; celui des

rails ondulés ne pèse que 17 k.; mais comme le prix des premiers est d'environ 26 fr. les 100 k., et celui des seconds de 31 fr. (A), il n'y a point d'économie. D'ailleurs si l'on considère les grands avantages que présentent les rails parallèles, n'exigeant de précision dans la pose des stones que pour l'alignement, permettant leur rapprochement à volonté selon la fatigue des rails ou la mollesse du sol, et nuisant moins à l'écoulement, on ne pourra s'empêcher de leur donner la préférence, et c'est ce qu'on fait aujourd'hui.

Dimensions principales de quelques rails.

CHEMIN DE	DISTANCE des appuis.	HAUTEUR.	LARGEUR. Maximum.	LARGEUR. Minimum.	LONGUEUR d'un RAIL.	POIDS d'un mètre.	POIDS des waggons ou locomotives
			RAILS EN FER MALLÉABLE.				
	m. m.	mm.	mm.	mm.	m.	k.	k.
* Lyon	0,91 — 0,75	75	46	14	4,57	13,2	7000
* Roanne, *fig* 24 et 24 *bis*	0,82 — 0,71	75	46	14	5,00	13,2	7000
* Epinac, *fig.* 21	1,00	80	43	12	5,00	11,0	3600
* Denain, *fig.* 22	»	80	48	13	»	13,2	4600
Darlington, *fig.* 15 et 17	0,91	85—56	55	14	4,56	14,0	8000
Liverpool, *fig.* 14 et 16	0,91	100—60	55	15	4,56	17,0	11500
* S.-Helen-Runcorn, *fig.* 18 *bis*	0,91	92	55	18	4 56	19,5	8000
* Leeds et Selby, *fig.* 23	0,91	100	58	13	4,56	21,8	»
* Sunderland, *fig.* 19 *bis*	»	97	49	13	4,56	14,5	4000
* Redruth	0 91	80	30	16	»	12,7	2000
* Wrexham	1,15	80	40	20	4 60	14,0	2500
			RAILS EN FONTE.				
Andrezieux	1,14	140—70	50	20	1,20	21,7	3800
Darlington, Helton, *fig* 13	1,15	145—80	55	13	1,20	22,0	8000
Newcastle	1,15	»	40	»	1,22	20,8	4000
Middleton près Leeds	0,92	120 — 90	51	19	0,92	19,8	5500

* Rails parallèles.

Entrons dans quelques détails sur la stabilité du système des rails, des chairs et des stones. **Stabilité des rails, chairs et stones.**

Les rails doivent conserver leur hauteur, leur parallélisme et leur affleurement au joint, conditions essentielles pour le roulage, et dans lesquelles il est d'autant plus difficile de les maintenir que les véhicules ont plus de masse et de vitesse. Conditions principales.

La conservation du niveau tient à la résistance du terrain : il est rare qu'elle soit parfaite, il l'est encore plus qu'elle soit uniforme ; elle dépend en grande partie de la surface et du poids des stones. Les dimensions de

(A) Prix de 1830.

Des stones.

ceux-ci, qui dans le principe étaient de $0^m,30$ sur $0^m,30$ et $0^m,20$ de hauteur, ont été successivement portées à $0^m,60$ sur $0^m,60$ $0^m,30$ de hauteur, c'est-à-dire à une masse sextuple, et aujourd'hui on est disposé à les augmenter encore pour les chemins de grande vitesse.

Une plus grande surface des stones augmente la stabilité en subdivisant la pression sur le sol; une plus grande masse y contribue aussi par inertie.

Lorsque le chariot passe sur le stone, celui-ci tend à s'enfoncer. L'action momentanée du chariot sur le terrain, transmise par le stone, est d'autant plus faible que l'intermédiaire a plus de masse.

Toute espèce de pierre est bonne pour les stones, pourvu qu'elle résiste à la gelée et à la dilatation des chevilles de bois remplissant les trous qu'on pratique pour fixer les chairs. La pierre la plus lourde est la meilleure. Les faces sont très grossièrement taillées, celle qui reçoit le chair l'est avec un peu plus de soin.

Massif général.

En donnant, comme d'usage, $0^m,90$ de distance entre les chairs, et $0^m,60$ d'équarrissage aux stones, il n'y a qu'un tiers du terrain occupé par les rails qui ne les supporte pas. Il ne faudrait donc pas un grand surcroît de dépense pour établir un massif général de maçonnerie sous chaque ligne des rails, qui, par là, seraient soutenus dans toute leur longueur. Cette idée, adoptée par quelques ingénieurs, est rejetée par d'autres qui pensent que la résistance complète du terrain est nuisible, et qu'une réaction trop dure sur les rails, et par suite sur les waggons et les locomotives, rend les détériorations du railway, des chariots et des machines plus grandes et plus promptes.

Trop grande dureté du sol nuisible.

Exemple du chemin de Lyon.

C'est ce que semble démontrer l'observation comparative des parties du chemin de fer de Lyon établies sur le gravier ou le rocher, et celles qui sont sur remblai. Une certaine élasticité serait donc utile dans le système des railways, et s'obtient en espaçant les points d'appui. Ces opinions et ces faits sont conformes à ce que nous savons des routes ordinaires d'empierrement. Mr. Mac-Adam a trouvé que la détérioration d'une route du Somerset, dont la chaussée reposait sur le rocher, était à celle d'une partie de cette même route établie sur un marais comme 7 à 5.

Traverses en bois.

Outre les stones, on emploie aussi des semelles en bois, principalement dans les terrains moins résistans, comme les remblais récens; elles sont le plus souvent assez longues pour servir aux deux rails de la même voie : elles ont de $0^m,16$ à $0^m,20$ de hauteur sur $0^m,22$ à $0^m,30$ de largeur. On se sert aussi de bois en grume scié en deux et posé à plat; on les place quelquefois sur d'autres pièces parallèles aux rails, ou seulement sur des

madriers ; il en résulte un plus grand empâtement, et par conséquent la pression momentanée des chariots porte sur plus de points.

Comme masses inertes les semelles résistent beaucoup moins que les stones plus pesans qu'eux. Le poids des stones de fortes dimensions est le quart de la pression qu'exerce une roue de waggon, tandis que celui des semelles n'en est pas la trentième partie : aussi voit-on au passage des waggons une plus forte vibration des rails lorsqu'ils sont établis sur traverses en bois que lorsqu'ils le sont sur stones.

Traverses en fonte.

On a aussi employé des traverses en fonte *fig.* 35 ; le milieu était enfoncé sous la voie, tandis que les extrémités relevées présentaient des fentes dans lesquelles se plaçaient les rails ; dans ce cas il n'y avait pas de chair. Il est vraisemblable que la rupture de ces pièces et leur cherté auront fait renoncer à ce système, qui ne dispensait pas des stones nécessaires pour porter les extrémités des traverses.

TROISIÈME LEÇON.

Position des chairs.

La position des chairs sur les stones n'est pas indifférente ; le chair transmet au stone la pression momentanée qu'éprouve le rail sous le passage du waggon ; c'est la résistance du terrain qui assure la stabilité du stone : il faut donc pour qu'il n'y ait pas de déversement que la résultante des forces qui résistent soit opposée à celle des forces qui pressent ; c'est-à-dire que le centre du chair, le centre de gravité du stone et celui de l'aire suivant laquelle il touche le terrain, doivent être sur la même verticale, condition qui exige que les stones aient certaines formes. Il faut de plus que les superficies du dessus et du dessous soient parallèles et à peu près planes.

La position du chair ainsi déterminée sur le stone, il y est fixé par deux broches ou en fer ou en bois ; dans le premier cas, on commence par remplir les trous cylindriques du stone par des chevilles en bois noyées dans la pierre, et c'est dans celles-ci qu'on chasse avec force les broches de fer dont la tête retient les chairs. Si le bois est trop sec et le trou trop près du bord de la pierre, celle-ci peut éclater.

Les trous percés dans les stones ont de $0^m,08$ (Epinac) à $0^m,15$ (Leeds) de profondeur sur $0^m,02$ à $0^m,03$ de diamètre.

Cale entre le chair et le stone.

Quelquefois on a interposé entre le chair et le stone une substance compressible, comme du feutre goudronné *(chemin de Leeds et Selby)* ou une planche très mince de bois *(chemin de Roanne sur quelques mille mètres)*. Le but de cette interposition est de rendre l'assemblage moins

rigide, aussi bien que d'assurer un contact plus parfait pour éviter la rupture des chairs qui porteraient à faux sur la pierre mal dressée.

Ordinairement les trous des chairs ont un bord un peu plus épais formant saillie, afin d'offrir plus de résistance aux coups du marteau.

Coins en fer ou en bois.

Les coins qui serrent les rails dans les chairs sont en bois ou en fer ; les premiers, qu'on imbibe quelquefois de goudron, donnent moins de raideur au système, mais, permettent davantage aux rails de se déverser en cédant à l'écartement produit par les waggons.

Les coins en fer s'opposent plus efficacement à cet effort ; mais en les enfonçant entre le rail et le chair, on peut faire éclater la joue de ce dernier, ou comme l'assemblage est plus rigide, s'il est trop serré, un cahot des waggons produit le même effet.

Coins en dedans ou en dehors.

On a mis ces coins en dedans et en dehors de la voie. Lorsqu'ils sont en dehors, l'action des waggons qui poussent toujours les rails de ce côté est transmise moins brusquement au chair, surtout si les coins sont en bois. Dans ce dernier cas il vaut encore mieux qu'ils soient en dehors, parce qu'on peut les recouvrir de terre qui empêche qu'ils ne se dessèchent et ne jouent. Enfin on peut dire qu'en général cette position est préférable, parce qu'alors le rail éloigne davantage le rebord des roues des chairs qui en sont quelquefois atteints.

Coins de chaque côté.

Dans les nouveaux chairs du chemin de Liverpool on a beaucoup augmenté l'épaisseur des joues, et on a placé deux coins, un de chaque côté. Ces coins en fer ont un petit talon, comme les clavettes, pour être retirés plus facilement avec le marteau, *fig.* 14 et 16.

La largeur des chairs dans le sens des rails varie de 9 à 13 centimètres ; quelquefois ceux qui soutiennent deux rails sont plus larges que les autres, et légèrement convexes sous le joint ; le patin a environ $0^{m},03$ d'épaisseur sous les rails et $0^{m},02$ aux extrémités. Quant à la hauteur, elle doit être telle que la joue intérieure ne puisse jamais être touchée par le rebord des roues ; le poids des chairs varie de 3 à $6^{k},5$.

Dimensions et poids des chairs.

L'intervalle des stones et des chairs dépend évidemment de la force des rails et du poids des waggons. On peut, jusqu'à un certain point, rapprocher les chairs ou augmenter les épaisseurs des rails, quand on veut rendre un railway plus résistant. C'est ainsi qu'aux chemins de Lyon et de Roanne on a fortifié quelques parties en ajoutant un stone sous chaque longueur de rail.

Établissement d'un railway.

Pour construire un railway, on commence par tailler les stones et percer les trous qui doivent recevoir les chevilles de bois et les broches de

fer ; on les transporte sur la ligne, et on y fixe solidement les chairs.

L'axe du chemin est tracé au moyen de piquets distans de cinq à six longueurs de rail (*environ* 25 *mètres*), mis de hauteur au niveau d'eau et repérés au niveau à bulle d'air de 300^m, en 300^m. Au droit de chacun de ces piquets, latéralement et au-delà des rails extrêmes, on plante deux autres que l'on met à la hauteur des premiers, avec le niveau de charpentier.

Dans l'emplacement de chaque ligne de rails on ouvrira une tranchée longitudinale propre à recevoir les stones ; on prendra tous les moyens possibles pour affermir le terrain ; on posera d'abord les stones des joints des rails correspondant aux piquets, puis les stones des joints intermédiaires, dont les alignemens seront donnés par l'axe, et les hauteurs au moyen de voyans de paveurs placés dans les chairs des premiers stones. Tous les stones de joints étant posés, un cordeau tendu de l'un à l'autre sur le patin des chairs donnera l'alignement et la hauteur des stones intermédiaires.

Les rails seront transportés sur la ligne, puis parfaitement redressés sur une enclume ambulante avant la pose, enfin placés dans les chairs et serrés avec les coins. Ils doivent porter exactement sur tous les patins, s'affleurer et s'aligner parfaitement. Redressement des rails.

Les vides des tranchées seront ensuite remplis avec du sable, du gravier ou des pierres cassées, bien serrés contre les stones et damés à plusieurs reprises. Quelquefois, au lieu de se borner à des tranchées, on enlève le terrain dans toute la largeur du chemin.

Il est important que les stones ne vacillent pas et qu'ils touchent le terrain dans tous les points de leur base. Au chemin de Liverpool la pose des stones a été faite, et je l'ai vu faire encore, de la manière suivante : une espèce de trois-pieds portatif de 1^m, 80 de hauteur, *fig.* 48 *bis*, sert de point d'appui à un levier de bois de 4 à 5 mètres ; à l'extrémité du grand bras sont des tiraudes, comme à une sonnette, pour abaisser le levier ; au bras opposé est une chaîne accrochée au chair déjà fixé au stone : par ce moyen on enlève le stone, qui pèse environ 300 k., et en le laissant retomber plusieurs fois d'une petite hauteur, on dame le terrain, qui prend l'empreinte des inégalités du dessous du stone. Ce procédé de pose est bon, puisqu'on l'emploie encore aujourd'hui après trois années d'expérience, et cependant il semble qu'il devrait disloquer le chair. Damage du sol avec les stones.

Quelquefois on remplit le fond de la tranchée longitudinale d'un Fondations en pierres cassées.

lit de $0^m,25$ de pierres cassées sur lequel on pose les stones : on obtient stabilité et écoulement, l'eau filtrant à travers les pierres dans des caniveaux pratiqués de distance en distance. La fondation en pierres cassées est employée au chemin de Leeds et Selby, mais il paraît qu'elle n'est appliquée qu'aux terrains tendres, *fig.* 38 et 39.

Ces pierres cassées doivent se comporter sous les secousses des waggons comme celles des routes sous le mouvement des voitures ordinaires, c'est-à-dire qu'elles se serrent, s'enchevêtrent, et finissent par occuper moins de volume. Le railway doit donc baisser; mais les pierres étant supposées égales, le tassement dû à cette cause est uniforme.

Lorsque les chairs sont posés sur des semelles d'une seule pièce traversant la voie, il est plus difficile de les assujétir, parce qu'une extrémité se dérange quand on relève ou qu'on abaisse l'autre, mais le parallélisme des rails se conserve plus aisément.

Intervalle à laisser entre les rails.

Il faut avoir soin, dans la pose des rails, de ne pas les faire toucher bout à bout; on doit laisser un jeu suffisant pour la dilatation : l'allongement ne peut guère excéder $0^m,002$ à $0^m,003$ par rail de $4^m,56$ ($40^o \times 4^m,56 \frac{1^o}{100 \times 819} = 0^m,002$), en supposant que la pose a lieu à 0° que le fer ne s'échauffe pas au-delà de 40° par les plus grandes chaleurs d'été. On peut, en doublant les intervalles, les reculer de deux en deux rails, mais non au-delà; la dilatation ne remplirait plus les vides et déformerait les rails qui résisteraient trop pour glisser dans les chairs.

Quelquefois on incline légèrement la surface supérieure d'un rail vers l'autre rail, disposition qui tend à ramener les waggons dans la voie et qui est plus appropriée aux roues à jantes coniques.

Position relative des rails des deux lignes.

La position relative des rails des deux lignes de la même voie offre diverses combinaisons. Il paraît qu'on les a placés au chemin de Liverpool de manière que les joints d'une ligne étaient vis-à-vis les milieux des rails de l'autre. Cet ordre primitif a été plus ou moins interverti par les réparations successives et les remplacemens de rails. Au chemin de Lyon, les joints de chaque ligne se correspondent. Dans la première disposition les joints ne peuvent jamais être rencontrés que par une seule roue à la fois; dans la seconde les cahots occasionés par deux joints ont lieu en même temps, mais il est plus aisé de maintenir le parallélisme, une seule traverse servant à la fois à deux joints, c'est-à-dire à quatre rails.

Parallélisme des rails maintenu.

Chaque rail pouvant être poussé latéralement en dehors par les roues des waggons, on prévient l'écartement en plaçant de distance en distance des

traverses au lieu de stones : cette précaution, qui maintient la largeur primitive de la voie, est indispensable pour tous les terrains meubles et pour tous les remblais récens ; elle est économique, parce qu'on peut employer les mêmes traverses au chemin définitif et aux chemins de service des travaux d'établissement.

Largeur de la voie.

La largeur de la voie dépend de celle des waggons ; elle est ordinairement égale à la distance extérieure des rebords des roues plus $0^m,02$ de jeu.

Voie de chemins de fer mesurée entre les axes des rails.

	m.		m.
Leeds à Middleton.........	1,31	Les bills relatifs aux chemins les plus récents preecrivent pour écartement des rails	
Sunderland................	1,40	dans œuvre, au moins 1 m. 42.	
Redruth à Restrongett.......	1,21	hors œuvre, au plus 1 m. 55.	
Darlington à Stockton.......	1,48	Saint-Étienne à Andrezieux..	1,49
Liverpool à Manchester......	1,48	Lyon à Roanne.............	1,50
Cantorbury à Wistestable....	1,52	Epinac.....................	1,52
Leeds et Selby..............	1,49	Denain.....................	1,50

Double voie pour le croisement des waggons.

Lorsqu'un chemin de fer n'a qu'une voie, on est obligé d'établir de distance en distance des parties à double voie pour le croisement des waggons allant dans des sens opposés, ou marchant dans le même sens avec des vitesses différentes. Les distances varient nécessairement avec l'activité du roulage. Quant à la longueur des croisières, elle dépend de celle des trains, c'est-à-dire du nombre des waggons attachés ensemble. On compte depuis $\frac{1}{1}$ jusqu'à $\frac{1}{17}$ de longueur de voie de plus, pour les parties doubles ou croisières.

Près des points d'arrivage, de chargement et de déchargement, il faut ajouter des voies particulières destinées à la station des waggons et hors des lignes du chemin proprement dit.

Largeur de l'entrevoie.

Lorsque le commerce est très actif on donne deux voies au railway. L'intervalle qu'on laisse entre elles dépend de la largeur des voitures et des marchandises qui fréquentent le chemin.

Entrevoie d'axe en axe.

	m.		m.
Darlington à Stockton.......	1,26	Sunderland................	1,12
Liverpool à Manchester......	1,66	Lyon à Roanne.............	1,00
Leeds à Selby..............	1,98	Epinac.....................	1,00

Courbes de raccordement.

Angle sous lequel on change de direction.

Pour passer d'une voie à l'autre on fait des courbes de raccordement qui ne sont pas toujours tangentes aux lignes principales, il suffit que les angles de rencontre ne fassent point éprouver aux waggons un changement trop brusque de direction et que le rectangle des lignes joignant les quatre points de contact des roues sur les rails puisse toujours être inscrit dans la projection horizontale de la voie angulaire. Cesangles sont de trois à six degrés.

Aiguilles ou switches pour changer de voie.

Le changement de voie s'exécute au moyen de parties de rails, mobiles autour d'un centre, appelées switches ou aiguilles; quelquefois il n'y en a que sur une ligne de rails : lorsqu'il y en a deux et qu'elles doivent se mouvoir ensemble, elles sont liées par une chaîne ou par une tige en fer, *fig.* 26, 29, 27 *bis*.

Les switches sont mus à volonté par un homme qui va au-devant des trains, ou par un garde stationnaire. On emploie aussi une chaîne passant sur une poulie et au bout de laquelle est un poids qui descend dans un petit puits et qui ramène les switches dans la position où ils doivent rester, *fig.* 25 et 25 *bis*.

Ce dernier moyen adapté à un switche sur une seule ligne de rail à la croisière, suffit pour faire suivre la même voie aux waggons allant dans un sens, et l'autre voie à ceux qui viennent en sens contraire, *fig.* 27.

Soit AB une voie principale suivie par les waggons chargés allant de A en B, et C D une croisière où doivent s'arrêter les waggons vides allant de C en D. Les waggons pleins venant de A, trouvant toujours le switche D fermé par l'effet du poids H, suivront la voie principale, et, arrivés près du stwitche E, l'ouvriront par l'impulsion du rebord de la roue poussant devant elle le switche; les waggons vides venant de B et allant vers A, trouvant toujours le switche E fermé par l'effet du poids L, seront dirigés par ce switche dans la voie de la croisière, et s'y arrêteront s'il est nécessaire, pour laisser passer des waggons pleins dans la voie principale; continuant plus tard leur marche, ils trouveront le switche D fermé, mais le rebord des roues l'ouvrira, et les waggons vides rentreront dans la voie principale.

On emploie dans ce système des pièces de fonte MM aux points où deux lignes de rails se coupent et se croisent, et NN aux points où une ligne aboutit sur une autre. Ces pièces donnent lieu à quelques secousses, et M. Wood les a remplacées par un système de switches plus doux. L'inspection de la *fig.* 27 *bis* suffira pour en faire comprendre le jeu. On y

remarquera deux switches ramenés ensemble à une même position par un contre-poids.

Croisières sans switches.

On a aussi imaginé une autre disposition qui évite d'employer des parties mobiles, et qui est fondée sur la tendance qu'ont les waggons à continuer leur mouvement en ligne droite, *fig.* 28.

Au railway de Liverpool on emploie un moyen de changer de voie qui paraît préférable : une partie même des rails tourne autour d'un centre, et se place à volonté dans la direction de l'une ou de l'autre voie. Les parties mobiles ont environ $1^m,80$ de longueur : à $0^m,10$ de leur extrémité; elles sont traversées par une tige qui les pousse ou les tire. Celle-ci est terminée à côté de la voie par un rectangle horizontal de $0^m,20$ sur $0^m,40$ dans lequel se meut un excentrique dont l'axe vertical est tourné à volonté au moyen d'un bras de levier de $1^m,00$ de longueur ; le déplacement est d'environ $0^m,10$ à l'extrémité des rails. Le tout est en fer malléable, *fig.* 29 et 30. La figure 32 représente la disposition d'un autre excentrique exécuté au railway de Saint-Hélène-Runcorn.

Excentrique pour mouvoir les switches.

Switches en bois.

Lorsque la vitesse est très grande, et que l'on craint qu'au passage des switches les rebords des roues ne montent sur les rails, on emploie, comme moyen de sûreté, de grandes aiguilles en bois contre lesquelles s'appuie la jante des roues, de même que le rebord s'appuie contre le rail. Ces grands switches ont de 4 à 5 mètres de longueur; ils se meuvent sur une pièce de bois dont le dessus affleure le rail; ils forment au-dessus de cette pièce une saillie de $0^m,11$ à $0^m,15$ contre laquelle glisse la jante de la roue, *fig.* 31 ; on les manœuvre séparément.

Chariot pour changer de voie à angle droit.

Lorsque l'espace manque pour développer la courbe de raccordement et que les waggons doivent tourner court, il est indispensable de les arrêter, de les désunir, et de les amener les uns après les autres sur une plate-forme circulaire, tournant sur un chariot à roulettes; au moyen de laquelle on fait prendre à la portion de rail qui tourne avec elle, et au wagon qui est dessus, toutes les directions que l'on veut. La *fig.* 33 représente un chariot en charpente du railway de Stockton, et la *fig.* 34 un chariot en fonte du chemin de Liverpool.

Traverse des chemins et chaussées pavées.

Lorsqu'un railway traverse une route, on place chaque rail entre deux plaques de fonte posées de champ, réunies par des boulons, et laissant environ $0^m,04$ de vide entre elles et le rail. Ces plaques, dont le dessus affleure le dessus du rail, servent à retenir l'empierrement de la route et à garantir les rails du choc des roues des voitures qui passent par-dessus le rail, *fig.* 46.

Le plus souvent ces plaques sont remplacées par des pièces de bois un peu plus élevées que le rail, *fig.* 47.

Quelquefois enfin, lorsqu'il s'agit d'une chaussée pavée, rien ne protège les rails. Les pavés forment autant de petites chaussées dans les intervalles des rails, et s'abaissent brusquement contre eux en dedans de la voie pour laisser un libre passage aux rebords des roues, *fig.* 48.

En Angleterre, les derniers actes pour concession de chemins de fer fixent à 25 ^{mm} la plus grande différence de niveau d'un railway au-dessus ou au-dessous de la surface des chemins publics qu'il coupe.

QUATRIÈME LEÇON.

Ouvrages divers pour asseoir un railway.

Les ouvrages en terre, remblais ou déblais, exécutés pour l'établissement d'un railway sont semblables à ceux qui doivent recevoir la chaussée d'une route : nous avons donc peu de chose à en dire.

Tranchées.

L'eau devant être rejetée à droite et à gauche de l'axe dans les deux cas, mais peut-être avec plus de soin encore pour les railways, on fait dans les parties en déblai de petits fossés au pied des talus, *fig.* 56, 37, 38, 39, 41, 45 : ils ont depuis 0^m,70 (*Leeds et Selby*) jusqu'à 1 mètre (*Liverpool, Darlington*) de largeur en haut ; leur profondeur doit être telle que l'eau qui pourrait y rester, soit toujours plus basse que le dessous des stones. Ces fossés ont été placés au chemin de Liverpool à 1^m,00 et 1^m,50 du dernier rail.

Remblais.

Au même chemin, les talus des plus grands remblais commencent à 1^m,50 du dernier rail. Au remblai de Halton (*Leeds et Selby*), préparé pour quatre voies, cette distance sera d'environ 3^m, 50, elle paraît beaucoup trop grande ; peut-être s'est-on réservé la possibilité d'adoucir le talus, qui est très raide. Au chemin de Lyon, il nous semble qu'on est tombé dans l'excès contraire, en réduisant cette distance à moins de 0^m, 70. Toutefois nous devons dire que les remblais de plusieurs plans inclinés d'Angleterre, sur lesquels il passe 3 à 400 waggons par jour, ne présentent quelquefois que 0^m,60 de largeur entre le dernier rail et l'arête des talus, et que beaucoup de parties en plaine n'offrent que la même distance jusqu'au fossé, *fig.* 42.

Dans les remblais dont il s'agit, et lors du premier établissement, on pose toujours les chairs sur traverses en bois, ce qui donne une garantie de plus contre la poussée au vide; plus tard, quand le terrain a acquis quelque solidité, on remplace les traverses par des stones.

Il résulte des exemples cités, qu'une distance de 1m, 50 entre le dernier rail et la crête du talus, est bien suffisante pour résister aux frémissemens qui accompagnent le mouvement des voitures de plus grandes vitesses.

Remblai de Liverpool.

Au remblai de Roby, de 15m de hauteur (chemin de Liverpool), on a dressé les talus dans l'origine suivant une courbe de 1m, 50 de flèche sur 14m de corde, *fig.* 43; mais j'ai vu qu'en quelques endroits on a été obligé de soutenir les terres par un perré rectiligne qui remplit la concavité de cette courbe : dans d'autres parties la forme primitive existe encore.

Remblai de Leeds et Selby.

Au grand remblai du chemin de Leeds et Selby, de 16m,00 de hauteur, on n'a donné au talus que 10m,00 de base, et on a soutenu les terres par un perré ou mur à pierres sèches de 2m,00 d'épaisseur à la base. La hardiesse de cette construction, qui par la nature particulière du remblai a éprouvé des mouvemens plus considérables que dans les cas ordinaires, ne nous semble pas justifiée, à cause de la trop grande distance conservée entre l'arête supérieure du talus et le dernier rail, même dans le cas où on établirait quatre voies, comme on s'en est réservé la faculté, *fig.* 44.

Si on considère la durée et l'inégalité des grands tassemens qu'éprouvent les remblais très élevés, on reconnaîtra que les railways qui suivent ces mouvemens ne peuvent être viables sans de fréquentes réfections ; elles ne peuvent être exécutées qu'en suspendant le roulage ou en le reportant sur une autre voie. Il paraît donc très utile de donner au sommet de ces grands remblais la largeur suffisante pour placer des voies auxiliaires à côté des voies principales.

Dans l'établissement des railways, on peut avoir à percer des souterrains sous les montagnes ou à élever des viaducts au-dessus des vallées; nous parlerons seulement des dimensions qui conviennent à la viabilité de ces ouvrages, dont la construction est semblable à celle des souterrains des canaux et des ponts des routes ordinaires.

Des souterrains des railways.

Les souterrains exigent cependant une condition différente ; ceux des canaux sont placés plutôt au-dessous qu'au dessus des eaux souterraines. Pour ceux des railways on doit éviter cette position, et si l'on ne peut y parvenir, il faut se ménager des moyens d'écoulement jusqu'au-dessous des stones.

Largeur et hauteur des tunnels.

Lorsqu'il s'agit d'un railway, pour marchandises, à une seule voie, une largeur de 0,m50 à 0m,60 de chaque côté des waggons paraît suffisante, ainsi qu'une hauteur de 0m,70 au-dessus des caisses. (Tunnel de Preston, *fig* 50, de terre noire, *fig.* 49)

Pour le passage des diligences.

Lorsque le souterrain est destiné au passage des voyageurs, il faut au moins un mètre d'intervalle entre les parois des diligences et les pieds droits de la voûte, *fig*. 52. Au nouveau tunnel de Liverpool, destiné uniquement aux diligences, on a donné $7^m,30$ de largeur pour deux voies, ce qui suppose $1^m,05$ d'intervalle entre les chars et les pieds droits, *fig* 54. Il suffit d'une hauteur de $4^m,00$ au-dessus du sol pour le passage des diligences; mais s'il y a des machines locomotives, il faut avoir égard à l'élévation des cheminées, qui est d'environ $4^m,00$ au-dessus des rails.

Pour les machines locomotives.

Ces dimensions pourraient être adoptées pour l'ouverture et la hauteur des ponts qui soutiennent les routes au-dessus des railways; cependant au chemin de Liverpool les ponts ont généralement $10^m,00$ d'ouverture, et $6^m,00$ de hauteur sous clef.

Des viaducts.

Les ponts ou viaducts peuvent être construits en maçonnerie, en charpente, en fonte, ou même avec chaînes de suspension. Dans ces ouvrages la largeur entre les parapets et les rails extrêmes varie de $0^m,70$ jusqu'à $2^m,70$; une distance de $1^m,50$ est bien suffisante; c'est celle des grands viaducts de Newton et de Sankey au chemin de Liverpool.

Ces derniers ouvrages sont en maçonnerie; mais dans l'un d'eux le remblai n'est pas achevé jusqu'à la culée, et le passage des diligences a lieu sur un pont de charpente de 30 à 40 mètres de longueur. On voit aussi un viaduct en bois sur pile et culée en maçonnerie au chemin de Roanne, et un autre tout en charpente à Preston. On en a fait un entièrement en fonte, pour faire passer le railway de Sainte-Hélène sur celui de Liverpool: ce viaduct est biais.

Enfin, il y a près de Stokton un pont suspendu de $75^m,00$ d'ouverture construit pour faire suite au chemin de fer de Darlington, *fig*. 99; les waggons partent d'un point de la rive gauche plus élevé que le tablier du pont; abandonnés à la gravité, ils traversent le pont et remontent sur la rive droite: un point d'attache ayant manqué, on a soutenu le tablier par cinq palées avec soupoutres et contre-fiches; mais on ne peut pas inférer de là que le passage sur les ponts suspendus doive être interdit aux waggons.

Des waggons.

Sur les chemins provisoires.

Les chariots ou waggons employés sur les chemins provisoires, étant souvent destinés au transport des terres, sont construits de manière à faire bascule comme les tombereaux ordinaires. Dans les uns, l'axe de rotation est perpendiculaire aux rails, et la charge est renversée en avant, *fig*. 2; dans d'autres, il est parallèle au chemin, et le chariot se renverse de côté, *fig*. 3. Ces waggons sont tirés indifféremment dans les deux sens; ils contiennent de $0^m,80$ à $1^m,60$ cubes.

Les roues de ces petits chariots, ordinairement plus basses que celles des autres waggons pour faciliter le chargement à la pelle, en diffèrent essentiellement par le système de rotation. Dans les roues des waggons ordinaires, les essieux tournent avec elles; dans celles-ci l'axe est fixé au waggon, et les roues tournent dans leur moyeu. Cette disposition est favorable aux courbes des petits rayons que présentent souvent les chemins de service; elle donne aussi la facilité d'incliner les bouts des essieux et d'élargir la caisse des waggons (*fig.* 2).

Les waggons généralement employés sur les chemins de fer sont composés d'une caisse qui a la forme d'une trémie, d'un châssis de charpente qui porte la caisse, de deux essieux et quatre roues qui portent le châssis. Waggons ordinaires.

Cette forme pyramidale des caisses des waggons, qui servent principalement au transport de la houille, a été adoptée pour donner à la partie supérieure plus de largeur qu'à la voie, et faciliter le déchargement : il s'effectue en ouvrant le fond de la caisse, la houille tombe dans des navires ou dans des voitures qui la transportent à destination, *fig.* 55, 56, 57 et 86.

Au chemin de Liverpool, où une grande partie du commerce consiste en marchandises des Indes, on a donné aux chariots une forme appropriée à un autre procédé de chargement et de déchargement. Ils ont deux caisses prismatiques glissant sur le châssis au moyen de roulettes et de coulisses; Elles se meuvent parallèlement aux essieux des roues par dessus lesquelles elles passent. Ces caisses, roulées des magasins sur les chariots, ou des chariots dans les magasins, sont emplies et vidées sous des hangars à l'abri des mauvais temps. *Fig.* 58. Waggons de Liverpool.

Une disposition particulière et nécessaire aux waggons qui voyagent ensemble, est le prolongement en avant et en arrière des pièces longitudinales du châssis; les extrémités de ces pièces doivent se toucher quand les waggons se heurtent, et empêcher le choc des caisses, qui seraient bientôt brisées sans cette précaution. Les waggons se touchent par les châssis.

Les waggons doivent être unis par des chaînes fixées solidement aux châssis, *fig.* 85, et dont les anneaux sont en fer de 20 à 25^{mm} de grosseur; elles sont exposées à de violentes secousses, on en met une de chaque côté du waggon, ou une seule dans le milieu; dans ce cas, on en ajoute quelquefois une seconde un peu plus longue pour suppléer à la première en cas de rupture; ces chaînes sont courtes; il ne faut pas que les waggons soient trop écartés les uns des autres (environ 0^{m},30 à 0^{m},40), on en sentira la raison tout à l'heure.

C'est au moyen de ce système d'attache fort simple qu'un seul cheval Conséquence du mode d'attache pour la motion.

peut mettre en mouvement une masse considérable (15 à 25 t°). Lorsque les waggons sont en repos, ils se touchent ou doivent se toucher par les châssis, et les chaînes ne sont pas tendues. Le cheval, qui commence à marcher, n'agit d'abord que sur un waggon, puis les masses réunies du cheval et du premier waggon agissent sur le second, puis les masses réunies du cheval et des deux premiers waggons agissent ensemble sur le troisième, et ainsi de suite; de sorte que l'inertie totale du train est vaincue en détail sans trop de fatigue pour le cheval; et il en est de même relativement aux machines fixes ou locomotives; sans cette disposition particulière aux trains des chariots, l'action des machines sur des masses aussi considérables donnerait lieu à des accidens fréquens et à une prompte détérioration des équipages.

Pour diminuer les secousses violentes qu'éprouvent les voyageurs dans les diligences du chemin de Liverpool, secousses produites par l'action réciproque des voitures, aussi bien que par celle des machines locomotives, le mouvement est transmis à chaque voiture, soit qu'on la pousse, soit qu'on la tire, par l'intermédiaire d'un ressort placé au milieu du châssis, et au moyen d'une disposition ingénieuse de leviers, *fig.* 59.

Pour passer du mouvement au repos.

Le mode d'attache des waggons est également favorable au cheval quand il s'arrête; les waggons arrivent à l'état de repos successivement, le premier s'avance moins près du cheval que cela n'aurait lieu si le système était rigide, et il y a moins de chances pour que l'animal soit heurté par les waggons lorsqu'ils descendent.

Examinons les circonstances du mouvement des waggons qui marchent seuls, eu égard au mode d'attache.

Action des waggons les uns sur les autres.

Il arrive quelquefois qu'un waggon vide ne peut descendre seul sur une pente, tandis que le mouvement a lieu si on en attache deux ou trois autres à la suite du premier. Cela tient à ce que les waggons peuvent agir isolément ou ensemble sur les obstacles provenant de l'imperfection des railways.

Supposons qu'au bout de quelques secondes, le premier waggon rencontre un obstacle qui détruit la plus grande partie de sa vitesse; sa marche sera ralentie, le waggon qui le suit le rejoindra, le poussera, et ils marcheront ensemble pendant quelques instans; le second waggon rencontrant l'obstacle à son tour, ralentira sa marche et se séparera du premier; mais celui-ci, qui continue son mouvement, tendra la chaîne qui les unit, le tirera, et ils marcheront de nouveau avec une vitesse commune. Or on conçoit que si un autre obstacle eût succédé immédiatement au premier, il



aurait pu achever de détruire la vitesse affaiblie du premier waggon s'il eût été seul ; tandis que cet obstacle pourra être surmonté par les masses réunies des deux waggons qui se touchent, et de même cet obstacle qui aurait pu arrêter le second waggon seul, pourra être également surmonté par ce waggon quand il est tiré par le premier.

Avantage de cette action.

Ainsi le secours qu'un waggon reçoit de celui qui le pousse, il le lui rend en le tirant. Il y a en quelque sorte assurance mutuelle entre tous les waggons contre les chances qui peuvent arrêter chacun d'eux séparément. Il est vrai que si tous les waggons étaient attachés ensemble d'une manière invariable, ils jouiraient également de cet avantage ; mais alors ils perdraient celui que nous avons reconnu être si favorable aux moteurs.

Inconvénient.

La disposition qui produit ce dernier avantage n'est pas sans inconvénient, il faut que les waggons soient massifs et très solides pour n'être pas brisés par les secousses et les chocs qu'ils éprouvent horizontalement, en se tirant ou en se poussant : de là, la nécessité de transporter inutilement des masses qui consomment en pure perte un tiers de la force de traction.

Poids des waggons.

CHARGÉS.	VIDES.	RAPPORT.	NOM du CHEMIN DE FER.	CHARGÉS.	VIDES.	RAPPORT.	NOM du CHEMIN DE FER.
k.	k.			k.	k.		
3970	1268	0,32	Killing Worth.	3800	1200	0,32	Newcastle.
3811	1167	0,29	Idem.	4000	1500	0,38	Idem.
3869	1180	0,31	Idem.	1900	600	0,32	Idem.
4262	1573	0,36	Helton.	5000	1600	0,32	Liverpool.
3856	1167	0,31	Idem.	4500	1500	0,33	Denain.
4081	1395	0,34	Back Worth.	3600	1000	0,28	Epinac.
3000	1300	0,44	Darlington.	3700	1100	0,30	Roanne.
3875	1250	0,32	Idem.	4100	1100	0,27	Lyon.
3600	1500	0,42	Bolton.	3800	1400	0,38	Andrezieux.
3600	1000	0,28	Glascow.	. . .	. . .	. . .	. . . .
2130	760	0,36	Whitstable.	. . .	. . .	. . .	. . . .

Défaut commun aux divers modes de transport.

Ce sont les chocs contre les inégalités, les pavés, etc., qu'éprouvent les voitures sur nos routes qui ont forcé de les construire si solides et d'un poids égal à la moitié des marchandises ; on aurait donc pu croire que les chemins de fer qui aplanissaient ces obstacles amèneraient une améliora-

tion notable dans le rapport des masses des véhicules et des marchandises; mais il n'en a point été ainsi, et ce rapport, par les motifs que nous avons exposés, est resté précisément le même.

Poids des voitures sur les routes ordinaires.

CHARGÉES.	VIDES.	RAPPORT	ESPÈCES DE VOITURES	CHARGÉES.	VIDES.	RAPPORT	ESPÈCES DE VOITURES
k.	k.			k.	k.		
3500	1700	0,48	Diligences françaises.	7000	2200	0,31	Grosses voitures à 2 roues.
2400	900	0,37	Diligences anglaises.	1150	350	0,30	Léger chariot à 4 roues.
1300	500	0,38	Charrettes à deux roues.	9000	3400	0,38	Grosses voitures à 4 roues.

Ce rapprochement fait voir quel vaste champ est encore ouvert au perfectionnement des transports, puisque les chemins de fer, tout avantageux qu'ils sont, perdent comme les routes ordinaires le tiers de la force qu'on y emploie.

Si on étend cette observation aux canaux, on trouve que la masse des bateaux est à peu près le tiers du poids des marchandises; ainsi les trois moyens de transport qui ont le plus contribué à la prospérité du commerce intérieur des nations ont, presqu'au même degré, la même imperfection.

CINQUIEME LEÇON.

Des roues des waggons.

Les roues et leurs axes sont les parties les plus importantes des waggons.

Position.

Les axes doivent être plus éloignés l'un de l'autre que les appuis des rails, afin que le poids d'un waggon en repos porte sur six appuis, et que chaque distance entre deux chairs ne soit chargée que du quart de ce poids.

Dimensions.

Le diamètre des roues des waggons, mesuré à l'extérieur de la jante, varie de 0^{m},70 à 1^{m},00 ; celui des roues des locomotives va jusqu'à 1^{m},40. Au-delà de la jante est un rebord (*boudin*, *crease*), qui fait saillie de 0^{m},019 à 0^{m},030, et retient la roue sur le rail; la largeur de la jante, non

compris rebord, est de $0^m,07$ à $0^m,10$, l'épaisseur du rebord est de $0^m,03$, et celle de la jante est de $0^m,025$ à $0^m,030$.

Les roues des waggons ont de six à douze rayons de $0^m,020$ d'épaisseur, sur $0^m,07$ à $0^m,08$ de largeur, et des moyeux de $0^m,15$ à $0^m,19$ de diamètre sur autant de longueur. Elles pèsent de 100 à 120 k.

Ordinairement la jante est légèrement conique. Cette forme maintient les waggons dans l'axe de la voie lorsqu'elle est en ligne droite; dans les parties courbes, l'effet de la force centrifuge et du jeu, est de placer les roues de manière à ce que le grand rayon d'une jante touche le rail de grand rayon, ce qui est un avantage; il ne faut pas que la forme conique soit trop prononcée, parce que les rails ne pourraient résister à la poussée en dehors. Forme de la jante.

Le profil du rebord est varié: tantôt c'est une demi-circonférence à peine raccordée avec la jante, d'autres fois c'est une surface conique terminée par une demi-circonférence ou deux quarts de cercle formant doucine, *fig.* 60, 63, 65, 66, 67, 68. En général, le rebord doit avoir d'autant plus de saillie que le chemin présente des courbes plus prononcées, que la vitesse est plus grande, et que les effets de la force centrifuge sont plus à craindre. Profil du rebord.

Les edge-rails forment promptement dans les jantes une gorge qui augmente le frottement. On remédie à cet inconvénient en donnant une espèce de trempe à la partie extérieure des roues. On les fond dans un cylindre de fer dont le refroidissement plus prompt que le sable ordinaire de moulage rend la surface extérieure plus dure. Usure des roues ordinaires. Roues de fonte endurcie.

Cette opération présente des difficultés; la partie extérieure de la jante, promptement solidifiée, forme un cercle déjà rigide avant que le retrait des parties intérieures soit opéré; il en résulte que les rayons se séparent de la circonférence, ou se solidifient dans un état de tension si grande qu'ils cassent au premier choc. On a cherché à prévenir ces accidens en donnant une grande épaisseur à la jante par rapport aux rayons, afin que ceux-ci refroidis les premiers se retirent plus tôt; ou en séparant le moyeu en deux ou trois et même quatre parties, dont on remplit les intervalles avec des coins en fer ou de bois, après avoir cerclé les deux bouts du moyeu en fer. (*Fig.* 60, 64, 65.) Inconvénient.

Les roues en fonte ont été plus exposées à la rupture quand on a augmenté la vitesse des transports, et c'est principalement sur la forme des roues des machines locomotives, qui entraînent rapidement les voyageurs

et qui sont plus pesantes que celles des waggons, que l'imagination des constructeurs s'est exercée.

Variété des roues.

On a fait des roues en fonte avec rayons en ligne droite, en forme de S, bifurquées, etc. *fig.* 61, 62, 64, 65.

On a fait des roues en fonte, pleines, sans rayons, ayant seulement trois ou quatre vides circulaires.

On a fait des roues en fonte, fondues autour de rayons en fer malléable, retenus par leur forme de queue d'aronde.

On a fait des roues avec jante et moyeu en fonte, et rayons en fer à tête noyée dans la jante, tendus par des écrous tournant en dedans du moyeu; ces roues étaient cerclées en fer forgé, *fig.* 63.

On a fait des roues de locomotives avec des rayons en fer forgé, des jantes formées de deux parties circulaires en fonte se retournant d'équerre et cerclées en fer forgé, *fig.* 68.

On en a fait avec jante et rayons en bois, double cercle en fer forgé, moyeu en fonte d'une seule pièce ou de deux pièces moisées, *fig.* 66, 67.

On a fait les quatre roues des locomotives de même diamètre, puis on en a fait deux d'un diamètre plus petit.

Enfin le même ingénieur a d'abord mis six roues aux locomotives; puis quatre, puis paraît revenir au premier nombre.

Il serait impossible de décrire tous les systèmes de roues, il n'y a peut-être pas de combinaisons qui aient plus varié dans ce qui est relatif aux chemins de fer. Rien ne prouve mieux l'importance de cet objet, puisque cette grande variété de forme indique que l'on n'est satisfait d'aucune.

Des roues cerclées en fer.

Au milieu de cette quantité de modèles divers, aussitôt abandonnés qu'essayés, un fait reste seul bien établi, c'est que pour les locomotives on renonce à faire toucher les roues de fonte contre les rails et qu'il y a un grand avantage à les cercler en fer malléable. On pourrait peut être aussi y joindre l'emploi du bois dans les jantes et les rayons, au moins pour les machines de grandes vitesses.

Les roues s'usent principalement dans l'angle de la jante et du rebord. On peut réparer celles qui sont cerclées en fer, en les remettant sur le tour. Relativement à l'usure de chaque espèce, voici ce qu'on a observé.

Pour les roues de waggons, marchant avec des vitesses de 3 à 4 mètres, la fonte endurcie présente les résultats les plus satisfaisans; d'après M. Wood, des roues de cette espèce employées depuis huit ans étaient encore en très bon état et paraissaient devoir durer long-temps.

Au railway de Killing Worth, les roues des locomotives en fonte ordi-

naire s'usaient de 0^m,0125 en neuf mois, tandis que les mêmes roues cerclées en fer forgé ne s'usaient que de 0^m,003 par an, c'est-à-dire cinq fois moins.

Essieux et coussinets.

Les essieux des waggons et machines locomotives sont fixés aux roues et tournent avec elles. Si les roues tournaient autour de l'essieu, le plus petit jeu dans le moyeu permettrait au plan de la roue de s'incliner sur l'axe, et la voie changerait.

La rotation a lieu dans quatre coussinets boulonnés sous les châssis. Des parties de l'essieu d'un plus grand diamètre que les coussinets, empêchent le mouvement dans le sens de la longueur.

Le diamètre des essieux est de 0^m,05 à 0^m,07 pour les waggons, et de 0^m,09 à 0^m,12 pour les locomotives c'est-à-dire entre le $\frac{1}{11}$ et $\frac{1}{12}$ du diamètre des roues.

Coussinets en dehors des roues.

Ce rapport n'est que de $\frac{1}{15}$ pour les waggons du chemin de Liverpool qui portent sur quatre ressorts. Le corps de l'essieu a 0^m,08 de diamètre, mais les extrémités n'ont que 0^m,04. Elles font saillie en dehors des roues, et ce sont sur ces parties que portent les coussinets, *fig.* 76. Ces dispositions qui, à l'exception des ressorts, ont été imitées dans quelques waggons du chemin de Roanne, donnent de la stabilité à la charge et le moyen d'élargir la caisse, mais il faut augmenter l'entrevoie en proportion.

Les essieux sont toujours en fer et doivent être forgés avec beaucoup de soin. Les coussinets sont tantôt en fonte, tantôt en cuivre jaune, et quelquefois en fer malléable. Les uns et les autres doivent être tournés et toujours enduits de graisse. Ces précautions sont indispensables; ainsi on a remarqué au chemin de Lyon, qu'entre Rive de Gier et Givors, un seul waggon mal graissé pouvait arrêter le train descendant dont il faisait partie.

Lorsqu'un essieu cesse d'être suffisamment graissé, il s'échauffe et se corrode quelquefois de 0^m,01 en une heure.

Moyen de tenir les essieux graissés.

Il est difficile de tenir les essieux toujours graissés, et ce n'est qu'après plusieurs essais infructueux qu'on y est parvenu.

On avait d'abord imaginé au chemin de Liverpool de faire tomber sur l'essieu des gouttes d'huile par un trou du coussinet et au moyen de mèches dont un bout trempait dans un vase d'huile et dont l'autre descendait sur l'essieu. L'huile qui s'élevait par capillarité retombait ensuite comme par la plus longue branche d'un syphon, *fig.* 80.

Au chemin de Roanne, on avait placé le vase au-dessous de l'essieu sur lequel l'huile était portée au moyen d'une petite chaîne faisant noria et qui passait dans une gorge ménagée dans le coussinet, *fig.* 81.

Ces moyens ont été abandonnés, et on a adopté ceux représentés dans les *fig.* 70, 76. De petites boîtes placées au-dessus des coussinets, sont percées d'un trou vertical communiquant jusqu'à l'essieu; le tout est rempli de suif, ou d'un mélange de suif, d'huile et de soufre. Le mouvement échauffant l'essieu et le coussinet dès qu'ils manquent de graisse, procure la fluidité nécessaire pour faire descendre peu à peu sur l'essieu toute la matière grasse, qu'il faut renouveler très souvent.

Au chemin de Lyon, on se sert d'huile contenue dans un petit vase au-dessous de l'essieu; un cylindre de bois, en partie plongé dans l'huile et pressé contre le dessous de l'essieu par un ressort, tourne avec lui par l'effet du contact, le mouille continuellement d'huile, dont une partie est transportée entre le coussinet et l'essieu, *fig.* 79.

Frein des waggons.

Il est souvent nécessaire de modérer la vitesse des waggons descendans, et même, dans certains cas, il faut pouvoir la détruire complètement. On y parvient au moyen d'un frein manœuvré par un homme qui accompagne le train, monté sur l'arrière du dernier waggon. Ces freins agissent sur une ou deux roues. Leur disposition la plus habituelle est celle de la *fig.* 56.

Frottement des waggons.

La résistance que les waggons opposent au mouvement sur le chemins de fer, désignée assez improprement sous le nom de frottement, étant un point très important, M. Wood a cherché à la déterminer par beaucoup d'expériences.

Dynamomètre pour le mesurer.

Pour l'évaluer, il s'est servi d'un dynamomètre à pendule. L'inspection de la *fig.* 69 suffit pour en faire comprendre le mécanisme. L'instrument est l'intermédiaire entre l'action du moteur et la résistance du waggon. Les diverses inclinaisons de la tige du pendule, dont le limbe a été gradué par l'application de poids connus, indiquent des tirages précisément égaux à ces poids.

Au moyen de cet instrument, M. Wood a mesuré le frottement directement, mais il l'a aussi déduit du mouvement des waggons sur des plans inclinés: la relation analytique entre l'inclinaison du plan, le temps, l'espace, le poids du waggon et le frottement, donne la valeur de ce dernier, lorsque toutes les autres circonstances du mouvement sont connues par l'observation.

Frottement des roues.

Le frottement d'un waggon sur un plan horizontal se compose, 1° de celui des essieux dans les coussinets; 2° de celui des jantes des roues sur les rails. L'expérience a appris que ces frottemens n'augmentaient pas tout-

à-fait autant que les pressions, mais dans la pratique on peut les supposer proportionnels. Soient :

d le diamètre des essieux, et D celui des roues ;

W le poids du corps d'un waggon ;

R celui des roues et des essieux ;

f W le frottement des essieux mesuré à la circonférence ;

f'(W + R) celui de la circonférence des roues sur les rails ;

F la force de tirage faisant équilibre à ces deux frottemens :

en remarquant que la force de traction d'un waggon agit comme si elle était appliquée à la circonférence des roues, nous aurons :

$$DF - dfW - Df'(W+R) = o ;$$

d'où

$$F = \frac{d}{D} f W + f'(W+R) \ldots\ldots\ldots (1).$$

Pour vérifier si chacun de ces frottemens est proportionnel à la pression sous laquelle il a lieu, il fallait en observer au moins un séparément : c'est ce qu'a fait M. Wood. Il a d'abord déterminé le frottement total, soit directement, soit par la descente des waggons sur les plans inclinés, ensuite il a évalué isolément le frottement des roues sur les rails ; puis, retranchant ce dernier du premier, il a eu celui des coussinets.

Si on n'a pas égard à l'inertie des roues d'un waggon descendant librement sur un plan dont l'inclinaison est $\frac{1}{i}$ on a :

$$E^{*} = \left\{ \frac{\frac{W+R}{i} - F}{W+R} \right\} \frac{g}{2} t^2$$

W étant le poids du corps d'un waggon ;

R celui des roues et des essieux ;

E l'espace parcouru sur le plan pendant le temps t ;

g la vitesse donnée par la gravité au bout d'une seconde ;

F le frottement total supposé indépendant de la vitesse.

Si on a égard à l'inertie des roues (*supposées pleines et homogènes*) leur moment d'inertie étant $\frac{R}{2} r^2$, et la vitesse angulaire à la circonférence étant égale à celle du waggon, leur rotation produit la même résistance qu'une masse $\frac{R}{2}$ entraînée par le waggon ; on a donc :

* Résumé des leçons sur les machines de M. Navier, page 149.

Frottement d'un waggon sur un plan incliné.

$$E=\left\{\frac{\frac{(W+R)}{i}-F}{W+R+\frac{R}{2}}\right\}\frac{g}{2}t^2 \quad \text{d'où} \quad F=\left(\frac{W+R}{i}\right)-\left(W+\frac{3}{2}R\right)\times\frac{2E}{gt^2}. \ . \ (2)$$

formule semblable à celle par laquelle M. Wood détermine le frottement total sur les plans inclinés.

Des roues seules sans waggons.

Si on fait $W=0$, c'est-à-dire s'il n'y a que les roues et les essieux, le frottement F se réduit à la résistance $f'R$ sur les rails, et on a

$$f'=\frac{1}{i}-\frac{3E}{gt^2}. \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (3).$$

Pour faire les expériences sur ce genre de frottement isolé, M. Wood a fait descendre sur un plan incliné une seule paire de roues avec l'essieu ; il a observé les circonstances du mouvement, et en substituant les résultats dans la formule (3) il a eu la valeur de f'.

Pour faire varier la pression, on remplissait de plomb l'intervalle des rayons des roues.

L'inclinaison du plan était d'environ $\frac{1}{100}$; le diamètre des roues de o,m87; la longueur totale parcourue de 152m; le temps était observé à chaque longueur de 30m,40c, parcourue ; ainsi le frottement a été déterminé pour différentes vitesses, lesquelles ont varié de 1m,80 à 4m,00.

Coefficient du frottement sur les rails.

M. Wood a trouvé qu'avec le seul poids des roues et de l'axe, le frottement mesuré à la circonférence variait de $\frac{1}{645}$ à $\frac{1}{344}$; et que pour les roues chargées, comme elles le sont sous le poids des waggons, il était de $\frac{1}{800}$ à $\frac{1}{1300}$. Mais la formule qu'il a employée n'étant pas exacte, on trouve, en la rectifiant, que ce frottement peut être évalué moyennement à 0,002 de la pression. Ce qui engage M. Wood à prendre le plus petit des rapports donnés par l'expérience, c'est que deux roues seules doivent se détourner plus facilement de la voie que quatre roues unies au châssis des waggons ; qu'en conséquence les rebords doivent quelquefois éprouver un frottement latéral qui s'ajoute à celui des jantes. Au surplus, on conçoit que lorsqu'il s'agit de déterminer des rapports qui ne diffèrent que de quelques millièmes, les expériences deviennent bien délicates et les résultats bien incertains.

Coulomb a mesuré directement l'espèce de frottement dont il s'agit pour des cylindres de bois de 0m,16 et 0m,32 de diamètre, chargés de 500 kil. et roulant sur des pièces de bois bien dressées à la varlope ; il l'a trouvé proportionnel à la pression et en raison inverse des diamètres, de sorte qu'une roue de gaïac de 0m,87 de diamètre éprouverait une résistance d'environ 0m,001 de la pression.

Voici le tableau des cinq premières et de la 21e expérience de M. Wood ; dans les cinq premières, le poids des deux roues et de l'axe est de 270 kil., et dans la dernière de 2029 kil.

Expériences du frottement sur les rails.

PENTE A PARTIR DU SOMMET.	LONGUEUR PARCOURUE SUR LE PLAN INCLINÉ.	TEMPS EN SECONDES.	FROTTEMENT en partie DU POIDS d'après M. Wood.	VITESSE FINALE.	FROTTEMENT en parties DU POIDS d'après LA FORMULE (3).	FORCE ACCÉLÉRATRICE $=\frac{V}{t}$
	m.	″		m.		m.
0,009958	50,47	34,2	0,00118	1,78	0,00199	0,0520
0,0101130	60,94	48,8	0,00137	2,50	0,00 31	0,0512
0,010215	91,41	59,6	0,00140	3,06	0,00 34	0,6513
0,009963	121,88	70,2	0,00144	3,46	0,00240	0,0491
0,009845	152,35	79,1	0,00144	3,81	0,00239	0,0469
0,009845	152,40	76,04	0,00113	4,00	0,00178	0,0526

NOTA. Les cinq premières colonnes sont tirées de l'ouvrage de M. Wood, la sixième est le rapport du frottement suivant la formule (3), et la septième la force accélératrice qui diminue un peu avec la vitesse.

M. Wood conclut de ses observations que le frottement sur les rails est proportionnel à la pression, et presque indépendant de la vitesse ; cependant la moitié de ses expériences semble indiquer qu'il augmente un peu avec la vitesse.

Les secousses brusques qu'on éprouve dans une voiture qui parcourt un chemin de fer, indiquent des chocs aux joints des rails ; bien qu'ils ne soient pas compris dans ce qu'on entend par le frottement des jantes, il n'en est pas moins vrai qu'ils font partie de la résistance à vaincre et de l'évaluation déduite de la formule. Il en est de même des chocs que reçoivent les rebords des roues quand elles sont poussées latéralement contre les rails par les écarts de waggons. Les pertes de forces vives que toutes ces secousses occasionent doivent augmenter dans un rapport plus grand que celui des vitesses, et cela doit être d'autant plus sensible dans le roulage des waggons que généralement la caisse ne porte pas sur des ressorts.

D'après ces considérations, nous croyons que les conclusions de M. Wood ne peuvent s'étendre beaucoup au-delà des vitesses qu'il a observées, et qui ne sont que le tiers de celle des voitures-diligences. Il serait à désirer qu'on entreprît des expériences relatives aux grandes vitesses, expériences d'autant plus difficiles qu'on ne voit pas comment distinguer les effets de frottement des rails de ceux de la résistance de l'air, à moins de déterminer d'abord ces derniers.

Résultat des principales expériences de M. Wood sur la résistance totale des waggons mesurés avec le dynamomètre ou déduite de la descente sur les plans inclinés au moyen de la formule (2).

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES de M. Wood	PRESSION SUR LES		TIRAGE OU RÉSISTANCE.		RAPPORT des DIAMÈTRES des ROUES et DES AXES.	RAPPORT DE LA PRESSION	
	RAILS.	AXES.	TOTAL.	venant du frottement des axes.		sur les axes au frottement mesuré à l'axe.	sur les rails à la résistance totale.
	k.	k.	k.	k.			
3 — dyn.	1181	609	6,11	3,75	12,36	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{193}$
2 — dyn.	1181	609	5,66	3,30	12,36	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{208}$
11 — plan.	1574	979	5,76	2,61	11,60	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{273}$
4 — dyn.	2184	1625	11,78	7,41	12,36	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{185}$
5 — dyn.	3199	2641	15,40	9,00	12,36	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{207}$
1 — dyn.	3872	3301	17,67	9,93	12,36	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{219}$
6 — dyn.	3859	3301	18,12	10,40	12,36	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{213}$
7 — dyn.	3834	3275	17,67	10,00	12,36	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{216}$
12 — plan.	4126	3554	17,67	9,42	12,36	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{233}$
10 — plan.	4266	3672	20,02	11,49	11,6	$\frac{1}{28}$	$\frac{1}{212}$
9 — plan.	4266	3672	18,78	10,25	11,6	$\frac{1}{31}$	$\frac{1}{227}$
8 — plan.	4266	3672	17,82	9,29	11,6	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{241}$

Coefficient du frottement total de M. Wood.

Ainsi M. Wood trouve pour limites du frottement total $\frac{1}{273}$ et $\frac{1}{185}$ de la pression ; il adopte le coefficient $\frac{1}{200}$ pour le roulage ordinaire et $\frac{1}{240}$ lorsque les waggons et le chemin sont en très bon état.

L'observation a appris que l'humidité, la boue, la poussière, la neige, augmentaient la résistance sur les rails, et qu'elle était la plus petite possible quand ils étaient entièrement mouillés ou parfaitement secs.

Le vent retarde aussi beaucoup la marche des waggons, soit en les poussant latéralement contre les rails, soit en agissant directement.

M. Wood trouve pour valeur du frottement des coussinets mesurés à l'axe $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{33}$ de la pression ; le rapport paraît diminuer pour de grandes charges. Ces deux rapports extrêmes, déterminés dans l'hypothèse où la résistance sur les rails est 0,001, deviennent $\frac{1}{13}$ et $\frac{1}{34}$ quand on suppose cette résistance égale à 0,002. Coefficient du frottement des axes.

L'importance de ce frottement, qui se montrait dans des proportions si différentes, a engagé M. Wood à faire des expériences plus soignées sur le mouvement des axes seuls ; il a trouvé qu'en employant des coussinets de fonte ou de cuivre polis par un long usage, le frottement pouvait être réduit à $\frac{1}{60}$, qu'il était à son minimum quand la charge était de 7 k. par centimètre carré de la surface du coussinet, et que les enduits fluides paraissaient les meilleurs.

Le coefficient du frottement des essieux des waggons donné par M. Wood est bien moindre que celui des axes des poulies trouvé par Coulomb ($\frac{1}{11}$ de la pression). Ce dernier a mesuré le frottement directement, tandis que M. Wood l'obtient après déduction de la résistance sur les rails, dont l'évaluation est incertaine ; outre cette cause de différence, il nous semble que les frottemens dans les deux cas ne sont pas entièrement comparables. Dans les expériences de Coulomb, ou les essieux ou les coussinets étaient fixes, et se pressaient avec une force constante ; dans le mouvemens des waggons, ils participent aux secousses imprimées au système, et par là agissent les uns sur les autres avec des pressions variables. Comparé au coefficient de *Coulomb*.

On a cherché à diminuer le frottement des coussinets des waggons en plaçant deux systèmes de roues l'un sur l'autre, *fig.* 75 : la jante des roues supérieures portait sur l'axe des roues inférieures qui s'appuyaient sur les rails ; ce moyen connu depuis long-temps n'a donné aucun bon résultat.

L'interposition des ressorts entre les coussinets des waggons et la caisse ne paraît pas diminuer sensiblement la force motrice, ainsi que cela a lieu pour les voitures des routes ordinaires. M. Wood rapporte neuf expériences faites sur le railway de Liverpool avec des waggons à ressort, lesquelles ont donné des coefficiens de frottement total compris entre $\frac{1}{144}$ et $\frac{1}{172}$ pour un rapport de $\frac{1}{16}$ entre les diamètres des roues et des essieux, ce qui revient à Effet des ressorts sur le tirage.

$\frac{1}{112}$ et $\frac{1}{115}$ pour le rapport ordinaire de $\frac{1}{12}$. Ainsi les ressorts n'ont été d'aucun avantage pour le tirage.

Il est à regretter que M. Wood n'ait dirigé ses recherches expérimentales que sur des rails parfaitement droits, et non dans l'état ordinaire des chemins de fer en pleine activité; plusieurs faits semblent indiquer que dans l'état habituel des rails le frottement total est plus considérable qu'on ne le pense. Ainsi au chemin de Rive-de-Gier à Givors, sur une pente $\frac{1}{166}$, les waggons ne descendent seuls que lorsqu'ils sont bien graissés; au chemin d'Epinac, sur une pente de $\frac{1}{143}$, les waggons vides ne descendent que sur les parties en ligne droite et s'arrêtent dans les courbes; au petit chemin de Denain, ils n'entrent en mouvement, sur une pente de $\frac{1}{155}$, qu'après une certaine impulsion; au chemin de Roanne, sur une pente de $\frac{1}{104}$, ils commencent avec difficulté à se mouvoir seuls, et s'arrêtent quelquefois.

Motif d'augmenter le coefficient de frottement de M. Wood.

A ces observations qui engagent à augmenter le coefficient du frottement total qu'a admis M. Wood, nous ajouterons celles qui suivent :

1° La pluie, la neige, la boue ou la poussière augmentent la résistance, et l'augmentation peut aller jusqu'au sixième du frottement total.

2° Quelques expériences indiquent une résistance totale de $\frac{1}{185}$ et d'autres beaucoup plus, notamment celle sur les waggons à ressort du railway de Liverpool.

3° Le coefficient de Wood paraît trop faible, parce qu'il ne comprend point le frottement latéral des roues contre les rails, quoiqu'il ait lieu très souvent, les waggons étant presque toujours poussés de côté; circonstance que M. Wood a évitée dans ses expériences.

4° Si, d'une part, on doit supposer que sur les chemins de grande vitesse les rails et les voitures seront particulièrement bien entretenus, d'une autre part il faut, dans ce cas, faire intervenir la résistance de l'air; ce qui donnerait plutôt lieu d'augmenter le coefficient ordinaire que de le réduire; et il en est de même de la flexion des rails, qui, comme nous le verrons, augmente avec les grandes vitesses, ce qui ne peut avoir lieu qu'aux dépens de la force motrice.

5° Enfin les ingénieurs chargés, en 1830, par la compagnie du railway de Liperpool, de poser des élémens de calculs pour le mouvement, après avoir pris de nombreux renseignemens sur les chemins en activité, et connaissant d'ailleurs une partie des expériences de M. Wood, crurent devoir admettre le coefficient de $\frac{1}{180}$.

Toutes ces considérations nous portent donc à adopter généralement le même coefficient, sauf à le diminuer dans des cas particuliers, comme l'a

fait M. Wood, qui emploie des rapports variant de $\frac{1}{333}$ à $\frac{1}{240}$: il est toujours sous-entendu que ce coefficient de $\frac{1}{180}$ est relatif à des waggons dont les diamètres des roues et des essieux sont dans le rapport de $\frac{1}{11}$ à $\frac{1}{13}$.

SIXIÈME LEÇON.

Des moteurs.

L'étude des moteurs ne nous regardant qu'accessoirement et eu égard à l'influence que l'application peut avoir sur la forme et le tracé des chemins de fer, nous nous étendrons peu sur cette matière.

Du cheval.

Quoique le cheval soit employé au tirage des voitures depuis des siècles, on n'a point encore de données suffisantes sur sa force à différentes vitesses. La grande variété des chevaux est un puissant obstacle à la précision des recherches expérimentales sur ce sujet, et la rend peut-être superflue.

La question n'est pas seulement mécanique. Quand on cherche le prix du plus grand effet, elle se complique nécessairement de la durée de la vie du cheval, qui est un capital à renouveler; or, il n'y a que ceux qui par état sont à même d'examiner de près les chevaux qui puissent bien apprécier les effets du travail sur leur complexion; jusqu'à présent on n'a point encore publié d'observations suivies à ce sujet, et nos connaissances sont très bornées : elles sont d'autant plus difficiles à acquérir que pour obtenir des résultats rationnels, il faut pouvoir observer pendant plusieurs années les mêmes chevaux appliqués au même travail.

Force du cheval à différentes vitesses.

VITESSE PAR :		TEMPS du TRAVAIL.	EFFORT.	CHARGE TRAINÉE.	FROTTEMENT la pression étant 1.	TONNAGE TRANSPORTÉ à 4000 m.		OBSERVATIONS.
HEURE.	SECONDE					TOTAL	UTILE.	
m.t	m.	h.	k.	k.		to	to.	
3200	0,9	10	51	12000	$\frac{1}{240}$	96	72	Résultat des railways, suivant M. Wood.
9000	2,5	3	33	825	$\frac{1}{23}$	5,5	3	Idem des diligences françaises.
16000	4,4	1,5	20	500	$\frac{1}{25}$	3	1,3	Idem des diligences anglaises.
13000	3,5	1,3	37	6700	$\frac{1}{180}$	28,5	15	Idem des diligences du chemin de fer de Lyon, en plaine; il est peu différent sur les pentes de 0,006 et 0,014.

[illegible] résultat, correspondant au pas de cheval, est donné par M. Wood. [illegible] est calculé d'après le frottement que devaient éprouver des waggons d'un poids déterminé sur des pentes connues.

Le troisième, correspondant au petit galop, a été tiré de divers ouvrages anglais, et principalement des expériences de M. Macneill sur les résistances des diligences, desquelles il résulte que l'effort d'un cheval attelé aux stage-coachs, et galopant en plaine avec 16,000 m. de vitesse à l'heure, est d'environ 20 k.

D'après ces mêmes expériences, cet effort n'est plus que de 17 k. si la vitesse est réduite à 10,000 mètres à l'heure, toutes les autres circonstances restant absolument les mêmes; d'où on peut inférer que la résistance, qui pour une vitesse de 16,000 m. était le $\frac{1}{25}$ de la pression n'en était plus que le $\frac{1}{30}$ pour une vitesse de 10,000 m : cette diminution tient évidemment à la résistance de l'air, et sans doute aussi à une moindre perte de force vive due aux chocs divers des roues; on doit donc y avoir égard pour calculer les résistances à différentes vitesses, et à défaut d'expériences, nous aurions admis ce rapport de $\frac{1}{30}$ pour la résistance des diligences françaises marchant à raison de 9,000 m. à l'heure, si nous n'avions cru convenable de le porter à $\frac{1}{25}$ pour tenir compte de la plus grande résistance qu'opposent les routes en France, généralement moins roulantes qu'en Angleterre; c'est d'après cette considération, la distance ordinaire des relais, la vitesse et la charge des chevaux des diligences françaises, que nous avons présenté le second résultat qui s'accorde assez avec le peu d'expériences que nous avons sur ce sujet.

Le quatrième résultat est tiré du service des diligences du chemin de fer de Lyon, lequel, n'étant établi régulièrement que depuis 18 mois, demande à être confirmé par une plus longue expérience.

Il est probable que le premier résultat n'est pas le maximum d'effet. Les railways qui ont servi de base à M. Wood pour l'établir sont descendus avec charge et remontés à vide. Sur un quart du chemin les pentes étaient plus fortes que le frottement, et par conséquent le cheval marchait sans tirer, et dans un autre quart l'effort était très petit. Or, bien qu'un cheval ne soit soumis à aucun tirage quand il marche, il éprouve une certaine fatigue qu'on peut éviter; c'est ce qui résulte d'un perfectionnement introduit dans le tirage au chemin de Darlington. On a imaginé de transporter le cheval sur une plate-forme à la suite des waggons, quand ceux-ci peuvent descendre par leur propre poids. De cette manière, il y a bénéfice de force parce que le cheval se repose en descendant, et bénéfice de temps

Cheval traînant et traîné.

parce que les waggons descendent plus vite que ne l'eût fait le cheval. Un cheval qui, avant cette manœuvre, transportait dans une semaine de six jours 12 to. de houille à 140,000 mètres, les transporte maintenant à 193,000 m. dans le même temps; ainsi l'effet utile a été augmenté de plus d'un tiers, malgré la perte de force employée par le cheval pour remonter la plate-forme.

Cependant ce procédé, essayé au chemin de fer de Saint-Etienne à Rive-de-Gier, où il semblait très applicable, n'a point paru donner assez d'avantages pour être adopté.

En supposant :

Le frottement total sur les railways le $\frac{1}{115}$ de la pression;

Le poids du waggon $\frac{1}{2}$ de celui des marchandises transportées;

Le prix de la journée d'un cheval de 5f,00, toute dépense comprise,

Il résulte de l'effort que peut développer un cheval à différentes vitesses et du temps pendant lequel il peut l'exercer, le tableau suivant :

Quantité d'action du cheval sur un chemin de fer horizontal.

VITESSE PAR		TEMPS du TRAVAIL.	TIRAGE.	POIDS TOTAL porté à 4,000 m.	POIDS UTILE	PRIX DU TO. PORTÉ à 4000 m.	
HEURE.	SECONDE.					AVEC RETOUR.	RETOUR A VIDE.
m	m.	h.	k.	to.	to.	f.	f.
3200	0,9	10	51	73,4	49	0,102	0,205
9000	2,5	3	33	40	26,7	0,187	0,374
16000	4,4	1,5	20	21,6	14,4	0,347	0,694

Prix du transport pour 3 vitesses.

Tels sont les prix moyens auxquels reviendraient les transports sur les chemins de fer s'ils étaient toujours horizontaux, en ligne droite et en parfait état de roulage; mais de faibles pentes, des courbes plus ou moins prononcées, de légères altérations dans les rails et dans le système de rotation des voitures, nécessitent des forces de traction plus considérables et augmentent les prix.

Voici ceux de quelques chemins de fer en activité pour un tonneau transporté à 4000 m., y compris retour des waggons vides.

Marchandises, avec vitesse de $0^m,90$.

[illegible]

Darlington....................	0, f 26	
Lyon à Givors..................	0, 21	
Newcastle......................	0, 20	
Andrezieux à Saint-Etienne......	0, 18	en descendant.
Epinac à Ivry..................	0, 35	en montant.

Voyageurs, avec vitesse de $3^m,50$

Lyon.	de niveau...............	0^f, 38
	en montant $\frac{1}{160}$...........	0, 92

Gravité.

Lorsque les waggons chargés doivent descendre une pente, ils peuvent en même temps remonter un même nombre de chariots vides, sans autre force motrice que leur propre poids; le procédé employé dans ce cas est celui que les Anglais ont nommé self-acting, *fig.* 89.

Système self-acting.

Disposition des rails.

Les dispositions des rails sur ces plans inclinés sont : 1° une seule voie dans la moitié basse du plan; 2° une partie à double voie dans le milieu pour le croisement des waggons; 3° deux voies dans la moitié supérieure du plan, mais avec un rail commun dans le milieu; 4° deux petites parties à deux voies séparées pour les stations du haut et du bas.

Mécanisme.

Le mécanisme consiste en une grande corde, ou quelquefois une chaîne un peu plus longue que le plan, aux extrémités de laquelle sont attachés les waggons montans et descendans; elle est soutenue de distance en distance sur de petites poulies; elle s'enroule sur un tambour horizontal ou vertical établi à la partie supérieure du plan; aujourd'hui on emploie plus ordinairement une grande poulie à gorge en fonte placée presque horizontalement sous le palier à quelque distance du sommet; cette poulie, très peu inclinée dans le sens opposé au plan, est supportée par deux bâtis en charpente; elle tourne dans une cage souterraine en maçonnerie recouverte par de forts madriers sur lesquels passent les rails, *fig.* 94 : le diamètre de cette poulie varie de $1^m,80$ à $4^m,80$, et celui de l'axe de $0^m,08$ à $0^m,15$.

Manœuvre.

Voici la manœuvre : des waggons chargés sont sur le palier d'en haut, voie gauche; les waggons vides sont à la station d'en bas; la corde vient d'être descendue par des waggons chargés qui ont parcouru la voie droite.

On attache l'extrémité supérieure de la corde aux waggons pleins, et l'extrémité inférieure aux waggons vides; les switches fermant la voie gauche, *fig*. 89.

Des hommes, ou seul en montant sur les rayons des roues, font avancer les chariots chargés sur le commencement du plan incliné où la gravité les entraîne. Les trains montant et descendant parviennent en même temps au commencement de la double voie du milieu du plan. Les waggons pleins continuent à suivre la voie gauche, mais les waggons vides dirigés par les switches A B prennent la voie droite qu'ils ne quittent plus, et arrivent ainsi sur la plate-forme supérieure. Les chariots pleins, après s'être croisés avec les waggons vides, entrent dans la voie unique du bas du plan; en passant ils poussent en A C les switches qui ferment l'entrée de la voie droite, et arrivent à la station du bas.

A l'instant où les waggons arrivent en haut et en bas, des hommes décrochent promptement la corde, et les waggons continuent leur mouvement au moyen de la vitesse acquise. L'expérience apprend où il faut effectuer ce décrochement pour que les waggons s'arrêtent d'eux-mêmes aux points voulus.

Dans la situation où est la corde, sur la voie gauche, on voit que pour faire une nouvelle manœuvre, il faut que les waggons chargés soient placés sur la voie droite de la plate-forme, et que les waggons vides montent par la voie gauche; ce qui doit arriver, puisque les switches ferment la voie droite. Ainsi les waggons montent et descendent alternativement sur chacune des voies.

Frein de la grande poulie.

Lorsque l'inclinaison du plan, ou l'excédant de poids, sont tels que le mouvement des waggons est trop accéléré, ce qui a lieu précisément lorsqu'ils arrivent près des points où ils doivent s'arrêter, on modère la vitesse au moyen d'un frein qui entoure la grande poulie si la quantité d'action dont sont pourvus les chariots descendans est suffisante pour vaincre le frottement de la corde sur la grande poulie, il peut arriver que celle-ci cesse de tourner, et que cependant les waggons continuent à descendre, entraînant la corde qui glisse dans la gorge.

Frein des waggons.

Dans ce cas, on peut arrêter le train descendant en y plaçant un homme qui agit sur le frein du dernier waggon. On peut aussi allonger le plan et lui donner une légère contre-pente dans la partie inférieure. En général, l'inclinaison n'est pas uniforme, elle est plus forte au sommet et plus faible au pied; cette disposition corrige l'inégalité de puissance motrice à laquelle le poids de la corde est contraire au commencement du mouvement et favorable à la fin de la descente.

Plan courbe ou en contre-pente.

On peut encore augmenter le frottement, en forçant la corde à faire plus d'un demi-tour dans la gorge de la poulie, au moyen d'une ou deux autres petites poulies qui changent la direction et participent elles-mêmes à l'augmentation du frottement, *fig.* 89; mais ce procédé a l'inconvénient de rendre plus difficile le commencement du mouvement.

Lorsque les waggons chargés arrivent au bas du plan, la gravité cessant d'agir sur eux, leur vitesse n'est plus accélérée, et diminue d'autant plus promptement que ces waggons sont obligés de tirer la corde après eux. Quant aux waggons vides, dès qu'ils arrivent sur le palier d'en haut, la gravité cessant de les retarder, leur vitesse finale ne peut être usée que par le frottement des roues. Ils vont donc plus vite que la corde qui est devant eux, laquelle ne se meut qu'en vertu du tirage retardé des waggons d'en bas; il en serait de même si on modérait le mouvement par le frein des waggons descendans; ainsi, dans ces deux cas, la corde d'en haut dépassée par les waggons, est forcée de se replier sur elle-même assez brusquement, et les waggons passent par dessus. Pour éviter les accidens qui en pourraient résulter, le cordage ayant beaucoup de raideur et étant fort gros, on termine les extrémités de la corde par des chaînes d'environ 10 à 11 mètres de longueur, et de plus on a des moyens simples de les décrocher promptement, *fig.* 87, 88.

La longueur des plans inclinés self-acting varie de 200 à 1200 mètres, et leur inclinaison depuis $\frac{1}{6}$ jusqu'à $\frac{1}{40}$. Ils peuvent être composés de plusieurs pentes ayant une forme concave ou convexe; ils peuvent être courbes en projection horizontale ou formés de plusieurs alignemens; ainsi un des plans inclinés près Sunderland est terminé par un arc qui, d'après les mesures que j'ai prises de la corde et du sinus-verse, doit avoir un rayon d'environ 100 mètres.

Mouvement de waggons sur plans inclinés self-acting.
Expériences de Wood.

EXPÉRIENCES.	INCLINAISONS.	LONGUEURS.	POIDS DES WAGGONS		TEMPS.	CORDE.		POIDS DES		RAPPORT DU DIAMÈTRE DES POULIES A CELUI DE L'AXE.	
			CHARGÉS.	VIDES.		DIAM.	POIDS.	PETITES POULIES	GRANDES POULIES.	PETITES POULIES.	GRANDES POULIES.
		m.	k	k.	"	mm	k.	k.	k.		
XVIII	$\frac{1}{17.7}$	654	5×3973	6×1268	200	41	1761	1495	2101	$\frac{1}{14.6}$	$\frac{1}{10}$
XIX	$\frac{1}{17.7}$	654	6×3973	7×1268	180	41	1761	1495	2101	$\frac{1}{14.6}$	$\frac{1}{10}$
XX	$\frac{1}{10}$	1190	5×4285	7×1574	300	41	2179	1916	206	$\frac{1}{14.7}$	$\frac{1}{14}$
XXI	$\frac{1}{18.3}$	1118	5×4287	7×1574	360	41	2025	4425	206	$\frac{1}{14.7}$	$\frac{1}{14}$
XXII	$\frac{1}{15.3}$	824	5×4285	7×1574	280	35	1327	1875	206	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{14}$

OBSERVATIONS.

Expériences XVIII *et* XIX. Inclinaison plus forte au sommet qu'en bas. Voie parfaitement droite. Les rails étant bien secs et en bon état, six waggons chargés entraînent six waggons vides sans exiger l'emploi des freins; mais en hiver les résistances sont à peine vaincues.

Expérience XX. Inclinaison irrégulière. Grande courbe dans la voie. On y fait toujours monter sept waggons vides par sept waggons pleins, et on emploie toujours le frein de la grande poulie ou des waggons dans quelques parties.

Expérience XXI. L'inclinaison n'est pas uniforme. Grand arc dans la voie au milieu. Ordinairement sept waggons pleins montent sept waggons vides, et il y a un grand excédant de force.

Expérience XXII. Inclinaison presque uniforme. Voie droite. Ordinairement sept waggons pleins montent sept waggons vides, et il y a un grand excédant de force.

SEPTIÈME LEÇON.

Des sheeves ; ou petites poulies.

Les sheeves, ou poulies qui doivent soutenir et diriger le cordage, ont plusieurs formes. Les unes ont des gorges étroites, *fig.* 71, 72, 74, 78 ; les autres sont des cylindres terminés par des rebords, *fig.* 73, 77, 94 ; il y a aussi des cylindres verticaux, et des poulies placées obliquement dont l'axe n'est pas horizontal, *fig.* 82.

Toutes ces poulies en bois ou en fonte roulent sur des axes fixes en fer forgé de 15 à 20 millimètres de diamètre ; elles ont, sous le cordage, de $0^{m},18$ à $0^{m},40$ c. de diamètre : on les place à 6 et 8 mètres de distance.

Leur but.

Les sheeves diminuent le frottement de la corde, et l'empêchent de s'user aussi promptement que si elle traînait sur le sol : elles servent aussi à guider le cordage dans l'axe de la voie, lorsque les rails sont disposés en lignes courbes, et par conséquent empêchent la force motrice de tirer les waggons de côté.

Ces poulies éprouvent un frottement de rotation d'autant plus petit que le diamètre du fond de la gorge est grand par rapport à celui de l'axe ; et comme on ne peut diminuer ce dernier au-dessous de la grosseur nécessaire pour porter le poids de la poulie et de 6 à 8 mètres de corde qui est de 25 à 40 k., on augmente le plus possible le diamètre de la poulie. Mais, d'un autre côté, il faut que les poulies ne touchent ni les waggons qui passent au-dessus d'elles, ni le terrain qui est au-dessous, ce qui limite leur diamètre à $0^{m},40$ ou $0^{m},45$ c. distance ordinaire entre le terrain et le dessous des waggons.

On a cependant essayé d'augmenter ce diamètre en abaissant le centre près du terrain que l'on creuse pour laisser tourner les parties inférieures de la poulie ; mais cette petite fosse est bientôt remplie d'eau et de terre, et on est forcé d'entourer le bas de la poulie pour l'en préserver, *fig.* 71.

Des cordes.

Les cordes sont des parties essentielles du mécanisme des plans inclinés. Leur diamètre varie de $0^{m},035$ à $0^{m},06$; leur poids de 1 k.50 à 3 k.50 par mètre, et leur tension de 500 k. à 1600 k.

Frottement des cordes.

Le frottement des cordes sur les poulies est une résistance importante à connaître. Si le contact n'avait lieu qu'en un seul point, le frottement serait semblable à celui des roues des waggons sur les rails. Mais il résulte de la forme des poulies que la corde, dont toutes les parties ont la même vitesse, touche à la fois les rebords et le fond de la gorge qui ont des vi-

tesses différentes ; il y a donc frottement ordinaire sur quelques points de la corde.

Dans l'évaluation qu'en a faite M. Wood, il y a compris celui des axes des poulies et des tambours, et la force nécessaire pour plier la corde qui enveloppe.

Pour déterminer toutes ces résistances ensemble, M. Wood pose l'équation du mouvement des trains descendant et montant sur un plan incliné self-acting, en faisant abstraction des différentes positions de la corde; il la met à peu près sous cette forme :

$$E=\left\{\frac{\frac{M}{i}-\frac{m}{i}-\left(\frac{M+m}{180}\right)-F'}{M+m+\left(\frac{R+P}{2}\right)+C}\right\}\frac{g}{2}t^2$$

M, étant le poids des waggons chargés descendant,
m, celui des waggons vides montant,
R, le poids de toutes leurs roues considérées comme cylindres pleins,
P, celui de toutes les poulies et du tambour, considérés de même,
C, celui de la corde,
E, l'espace parcouru pendant le temps t,
g, la gravité,
$\frac{1}{180}$, le coefficient du frottement total des waggons,
F', les frottemens de la corde, des axes des poulies, et tambour, etc., etc.
$\frac{1}{i}$ la pente du plan incliné.

Ensuite faisant sur la descente des trains plusieurs observations qui lui donnent E et t, il en déduit la valeur de F'

$$F'=\frac{M}{i}-\frac{m}{i}-\left(\frac{M+m}{180}\right)-\left\{\frac{M+m+\frac{R+P}{2}+C}{\frac{g}{2}t^2}\right\}E.$$

Cette résistance est supposée agir dans la direction de la corde ; M. Wood la rapporte à la circonférence des axes en la multipliant par la moyenne des rapports des diamètres des poulies et de leurs axes calculée proportionnellement aux pressions respectives; et il trouve, d'après neuf expériences, qu'elle varie entre le $\frac{1}{5}$ et le $\frac{1}{4}$ du poids total de la corde, des poulies et des tambours.

D'autres ingénieurs, MM. Locke et Stephenson, ont fait quelques expériences directes sur le frottement des cordes ; ils ont fait descendre sur un plan incliné des chariots vides qui entraînaient diverses portions de cordes ; lorsque la longueur était telle que la vitesse était à peu près uni-

forme, ils en concluaient que le frottement de la corde et des waggons était égale à la composante de leurs poids parallèles à la longueur du plan; le frottement des waggons étant connu d'ailleurs, il était facile d'avoir celui de la corde. Mais ils n'ont donné ni le diamètre de la corde mise en expérience, ni celui des axes et des poulies, ni le poids de ces dernières; on remarquera que cette manière de procéder à la détermination du frottement, suppose qu'il augmente bien plus que la vitesse, puisqu'on admet que le mouvement devient uniforme.

En mesurant le frottement à la circonférence des poulies, quatre expériences ont donné des coefficients compris entre le $\frac{1}{10}$ et le $\frac{1}{12}$ du poids de la corde *seule*. Mais ce frottement dépend aussi du poids des petites poulies, qu'on peut supposer, sans grande erreur, égal à celui de la corde: il convient donc de l'évaluer en fraction d'une pression double, et alors les coefficiens ci-dessus deviennent $\frac{1}{20}$ et $\frac{1}{24}$. Si on rapporte le frottement à la circonférence des axes des poulies, il faut multiplier ces nombres par 12 (rapport ordinaire des diamètres), et ils deviennent $\frac{1}{1,7}$ et $\frac{1}{2}$.

Il est remarquable que MM. Stephenson et Locke aient trouvé un plus grand frottement, quoique leurs expériences ne comprennent pas des résistances qui se rencontraient dans celles de M. Wood, telles que la raideur de la corde, le frottement des tambours.

M. Walker, d'après deux expériences qu'il a faites sur le frottement des cordes mesuré à la circonférence des poulies, l'estime au $\frac{1}{12}$ de leurs poids sans y comprendre celui des poulies.

D'après ces résultats qui diffèrent entre eux, et que l'on ne doit considérer que comme des aperçus, on pourrait peut-être supposer que la résistance des cordes et de leurs appareils, mesurée à la circonférence des petites poulies, c'est-à-dire dans la direction de la force qui tire les waggons, est le $\frac{1}{16}$ du poids de la corde des sheeves et des poulies, le rapport des diamètres des poulies et des axes étant d'environ $\frac{1}{12}$.

Les cordes rompent fréquemment, et on cherche à prévenir les accidens qui en peuvent résulter. Il n'y a aucun moyen de retenir les waggons descendans, si ce n'est le frein des roues; mais il y en a pour empêcher les trains montans de reculer.

1° On accroche à l'arrière du dernier waggon deux morceaux de bois de $2^m,00$ de longueur et $0^m,10$ d'équarissage, terminés par une pointe de fer qui traîne sur le plan incliné quand le chariot monte, et qui s'enfonce de plus en plus dans le terrain dès qu'il recule.

2° Ces deux pièces de bois sont quelquefois assemblées avec des barres

de fer en croix de Saint-André, et forment une espèce de châssis qui suit le dernier waggon, *fig.* 84.

3° Aux plans inclinés des souterrains de Liverpool, on emploie deux gros coins de bois garnis de bandes de fer plat. Ils ont la forme de l'angle curviligne compris entre les roues et les rails; liés ensemble par des traverses, ils forment un traîneau glissant sur les rails et qui suit le dernier waggon auquel il est attaché; aussitôt que le waggon recule, le traîneau s'arrête, les coins se trouvent pris et serrés entre les roues, et les rails s'opposent à la descente du chariot, *fig.* 83.

Lorsque les waggons chargés doivent remonter le plan incliné, il faut une force motrice, et c'est presque toujours la vapeur qu'on emploie. Voici en quoi consiste le mécanisme ordinaire. **Machine à vapeur stationnaire.**

Un tambour de 1m,50 à 4m,00 de diamètre et 1m,50 de longueur, selon la longueur de la corde, est placé à une petite distance du sommet du plan incliné, *fig.* 96. L'axe horizontal, perpendiculaire à la direction des rails, est assez élevé pour que les waggons puissent facilement passer sous le tambour. Mécanisme.

Le tambour est enarbré avec une roue dentée dans laquelle engrène un pignon dont l'axe, qui porte un volant et un frein, est mu par la manivelle d'une machine à vapeur.

Le tambour peut tourner autour de son axe circulaire d'un bout à l'autre, ou glisser parallèlement à sa longueur : leur mouvement de rotation est solidaire ou indépendant, selon que des dentelures fixées d'une part au tambour et de l'autre à son axe sont engagées ou dégagées. Le tambour glisse sur l'axe à volonté au moyen d'un levier manœuvré par un homme.

Disposition des rails en supposant que le chemin de fer n'exige qu'une voie; *fig.* 90. 1° En bas du plan incliné deux voies pour la station et le croisement des waggons; 2° une seule voie sur le talus du plan jusqu'au sommet; 3° deux voies sur le palier entre le sommet du plan et la machine, dont l'une légèrement inclinée dans le sens du plan, et l'autre de niveau, *fig.* 96. Disposition des rails.

Manœuvre. Les waggons chargés étant à la station du bas ainsi qu'une des extrémités de la corde, on attache celle-ci aux vaggons, le tambour est engagé avec son axe, on fait marcher la machine à vapeur, le tambour tourne, se garnit de corde, et les waggons montent; arrivés au sommet, on décroche la corde, la vitesse acquise achève de les faire avancer sur le palier dans la voie droite, où ils restent jusqu'à ce qu'ils continuent leur voyage. Manœuvre.

Pendant que les waggons chargés ont monté, les waggons vides ont été amenés jusque sous le tambour; de là ils sont poussés à bras sur la station du palier dans la voie gauche, qui, pour faciliter ce mouvement, a une légère inclinaison vers le plan; lorsqu'on a décroché la corde des waggons chargés qui viennent de monter, on l'accroche aux waggons vides. On dégage le tambour du mouvement de la machine à vapeur, on pousse les waggons vides sur le plan incliné, la gravité les entraîne, le tambour tourne librement autour de l'axe fixe, et les waggons descendent avec la corde.

Mécanisme pour deux voies.

Si l'activité du commerce exige qu'il y ait deux voies, on emploie deux tambours correspondant à chaque voie; ils tournent dans le même sens, mais une des cordes passe en dessus des tambours et l'autre en dessous, de sorte qu'une corde monte tandis que l'autre descend. La disposition des rails est la même que celle employée dans le système self-acting, *fig.* 92.

Au lieu des deux tambours, on peut, comme au plan self-acting, employer une grande poulie mue par une machine à vapeur, au moyen de roues d'angle. Ce mode, plus simple et plus économique, exige que le frottement de la corde autour de la roue surpasse l'excès de poids des waggons chargés sur les waggons vides, puisque dans le cas contraire la roue tournerait sans entraîner le cordage ni les waggons.

Si les waggons ne peuvent entraîner le cordage.

Si l'inclinaison du plan et le poids des waggons vides descendans sont tels que ces waggons ne puissent entraîner le cordage après eux, on ajoute au mécanisme précédent une grande poulie placée sous la station inférieure du plan, enveloppée d'une seconde corde dont une extrémité est attachée à l'arrière des waggons montans et l'autre à la tête des waggons vides; de cette manière, la machine à vapeur agit sur les waggons qui doivent descendre, et les tire en bas; ce qui a lieu alternativement sur chaque voie, *fig.* 91.

Du grand plan incliné de Liverpool.

Un système à peu près semblable est employé pour monter et descendre, simultanément ou séparément, les waggons pleins et vides sur le plan incliné du chemin de Sainte-Hélène et du grand tunnel de Liverpool, *fig.* 98. Une corde sans fin, que nous considérons à partir du point O, est placée au milieu d'une des deux voies, pénètre sous terre, va en M, et enveloppe jusqu'en K une partie de la gorge supérieure d'une poulie B à deux gorges et de 5^{m},00 de diamètre; de K elle passe en R dans la gorge supérieure de la poulie C à deux gorges et de 2^{m},10 de diamètre; de R elle va en S, fait le demi-tour S I de la poulie D de même diamètre que C; de I revient en N et G dans les gorges inférieures des poulies C et B, en coupant dia-

gonalement sa première direction enveloppe la poulie B de G en T, passe à la surface du terrain, suit le milieu de la seconde voie, rentre sous terre au bas du plan, pour en sortir de nouveau après avoir fait le demi-tour H P de la poulie A de 3^{m},00 de diamètre, et revient enfin rejoindre le point O.

Cette corde sans fin, dont la longueur varie avec l'humidité de l'atmosphère et avec l'usage, est maintenue dans un même degré de tension par un contre-poids E qui peut descendre dans un puits; au moyen de la poulie verticale U, il agit sur le centre de la poulie D, laquelle, fixée sur un chariot roulant sur des rails, suit toutes les variations de longueur de la corde.

Une machine à vapeur, au sommet du plan, fait tourner la poulie B au moyen d'engrenages coniques. Il en résulte pour la corde, dont le frottement est considérablement augmenté par le système des poulies que nous venons de décrire, un mouvement continu et dans des sens opposés sur chacune des deux voies. Pour monter un train, on se sert d'un autre petit cordage dont une extrémité est fixée au premier waggon ascendant, tandis que l'autre, contournée et serrée fortement autour du grand cordage, y tient par frottement et en suit les mouvemens.

Au plan incliné du petit souterrain de Liverpool, qui n'a qu'une voie, l'ascension des diligences se fait par la même machine à vapeur précédente placée au bas du plan et au moyen d'une poulie de renvoi fixée au sommet; lorsque deux trains doivent monter l'un après l'autre, l'extrémité de la corde qui a monté le premier est ramenée au bas par un cheval.

Petit plan incliné de Liverpool.

Si un seuil se rencontre sur la ligne d'un chemin de fer, que le sommet ait peu d'étendue et que les pentes soient suffisantes pour que les waggons vides puissent entraîner la corde dans leur descente, on peut n'employer qu'un seul tambour mu par une machine à vapeur.

Plans inclinés opposés pour franchir un seuil.

Disposition des rails en supposant que le chemin n'a qu'une voie: 1° double voie aux deux stations au bas de chaque plan incliné; 2° voie simple sur chaque talus; 3° deux voies sur le palier, chacune d'elles ayant une très légère pente en sens inverse.

Manœuvre: un train de waggons étant à une station en bas du côté où la corde vient d'être descendue, on l'accroche au premier waggon qui doit monter; le tambour étant engagé avec son axe, on fait marcher la machine qui monte les chariots. Lorsque ceux-ci arrivent au sommet du plan, on arrête la machine et on décroche la corde; les waggons poussés à bras et aidés par la faible pente de la voie du palier descendent facilement

jusque près du sommet de l'autre plan incliné ; pendant qu'ils s'y rendent avec une faible vitesse, on attache l'extrémité de la corde qui vient de monter derrière le dernier waggon, on dégage le tambour, on achève de pousser le train sur le commencement du talus de l'autre plan incliné, et les waggons descendent entraînant avec eux la corde, laquelle se dévide du tambour tournant autour de l'axe fixe.

Si le chemin est à double voie, on emploie deux tambours, et on dispose les rails, sur chaque plan incliné, comme dans le système self-acting.

Plans inclinés de Brusselton.

On peut aider le mouvement de la machine par le poids des waggons descendans, ainsi qu'on l'a fait au double plan incliné de Brusselton. L'un de ces plans a 1592ᵐ de longueur et une pente de $\frac{1}{11}$, l'autre 754ᵐ et une pente de $\frac{1}{30,5}$. Ils sont séparés par un palier d'environ 100ᵐ. Il y a deux voies aux stations inférieures, deux voies au palier, avec légères pentes opposées, *fig.* 95, et une seule voie sur chaque talus. Celle du petit plan a, sur une grande longueur, la forme d'un arc de cercle dont le rayon, d'après les mesures que j'ai prises, est d'environ 780 mètres. Le grand talus qui est du côté des mines est toujours monté par les waggons chargés et descendu par les waggons vides : c'est le contraire pour le petit plan.

Deux tambours, invariablement fixés sur un même axe en fonte de 0ᵐ,25 de diamètre, sont mus par une machine à vapeur de 60 chevaux, placée au milieu du palier : l'un, de 4ᵐ,30 de diamètre, correspond au grand plan ; l'autre de 2ᵐ,00 au petit. Les circonférences sont à peu près dans le rapport des longueurs des plans, afin que les waggons puissent les parcourir à la fois dans le même temps. Les tambours tournent ensemble dans le même sens, mais la corde de l'un s'enroule quand celle de l'autre se déroule. La vitesse peut être modérée par un frein concentrique aux tambours d'environ 6ᵐ,50 de diamètre.

Manœuvre : un train de douze waggons chargés vient de monter le grand plan, pareil train de douze autres waggons vient de descendre le petit : lorsque celui-ci arrive en bas, le premier parvient au sommet en H, d'où, au moyen de la faible pente de la voie H B et après avoir décroché la grande corde, on le pousse facilement à bras jusqu'en B C, où on le laisse.

La grande corde décrochée est attachée à l'arrière de douze waggons vides qui ont stationné en D E pendant le mouvement précédent, et l'extrémité de la petite corde descendue est attachée à l'avant de douze autres waggons vides qui vont monter. On pousse le train D E sur le commencement du grand talus, on fait jouer la machine à vapeur, douze waggons

vides descendent sur le grand plan, et douze autres montent sur le petit. Ceux-ci arrivent en G, quand les premiers sont en bas du grand plan; de G au moyen de la faible pente ménagée dans la voie G E, et après avoir arrêté la machine et décroché la petite corde, on pousse ces waggons facilement à bras jusqu'en D E, où ils attendent.

Cette petite corde décrochée est attachée à l'arrière des douze waggons chargés que nous avons laissés en B C. L'extrémité de la grande corde descendue est attachée à l'avant de douze autres waggons chargés qui vont monter. On pousse le train B C sur le commencement du talus du petit plan, on fait jouer la machine à vapeur, et douze waggons chargés descendent le petit plan, tandis que douze autres montent sur le grand. Une série d'opérations semblables constitue le mouvement des plans inclinés de Brusselton.

J'ai observé que douze waggons chargés montaient le grand plan avec une vitesse d'environ $2^{m},90$, il y a trois minutes de temps perdu pour décrocher et accrocher les cordes, ainsi il doit y avoir environ 30 ascensions par jour de douze heures; ce qui s'accorde assez avec le mouvement commercial du chemin de Darlington, que l'on dit être aujourd'hui de 4 à 500 mille tonneaux de houille par an.

Si on suppose deux tambours et deux plans inclinés parfaitement égaux, si on fait abstraction du poids des cordes, il y aura équilibre à chaque instant, et les frottemens seront les seules résistances à vaincre; toutefois, ces résistances peuvent exiger des forces motrices considérables. Au double plan incliné de Nullise, chemin de Roanne, où se rencontrent à peu près les circonstances que nous supposons, et où on croyait produire le mouvement au moyen d'un manége, on a été obligé d'employer une machine à vapeur de 25 chevaux.

Si dans les plans dont nous venons de parler, l'inclinaison n'était pas assez forte pour faire descendre la corde par le poids des chariots vides, on emploierait au bas des plans de grandes poulies horizontales, avec une troisième corde attachée à l'avant des chariots descendans, et à l'arrière des chariots montans.

Dans tous les plans inclinés, l'ensemble de la manœuvre exige que du sommet on aperçoive la partie inférieure, afin que l'on ne commence le mouvement que lorsque tout y est préparé. A cet effet, on fait des signaux avec une espèce de télégraphe élevé au bas du plan, ou, lorsque les obstacles intermédiaires empêchent la communication par signes, on transmet l'avertissement au moyen d'une longue ficelle et d'une sonnette.

Les dispositions précédentes donnent le moyen de franchir les fortes pentes ; voici celles qui feraient parcourir toute une ligne de chemin de fer au moyen de machines à vapeur fixes.

Système réciprocating.

On divise la ligne en parties de 2,000 à 2,500 mètres, et on place une machine à vapeur à chaque division. Supposons que le chemin n'a qu'une voie, soit A B C, *fig.* 93, trois stations à double voie et trois machines ; chacune d'elles fait tourner deux tambours ayant même axe. Chaque train est tiré par une corde d'avant, et entraîne une corde d'arrière. Soit D et E deux trains allant en sens contraire, D marchant comme l'indique la flèche, est tiré par la corde d'avant *g* et par le tambour S engagé avec le mécanisme B ; en même temps, ce train entraîne la corde d'arrière *f* qui se dévide du tambour U dégagé de l'action de la machine A ; arrivé à *m*, il change de voie en allant vers *n o*, où on décroche les cordes d'avant et d'arrière, et le train marche seul ou est poussé à bras de *o* en *y*, où on a ménagé une très petite pente ; on l'arrête à *y*, où il attend.

1° Les trains tirés les uns après les autres.

Un autre train E tiré de E vers B, par la corde d'avant *h* et le tambour T engagé, entraîne la corde d'arrière *i* qui se déroule du tambour *z* dégagé. Quand ce train arrive en *p*, on décroche ses deux cordes, il change de voie et descend seul ou est poussé à bras de *p* en *e k* qui a une légère pente : on l'arrête en *e k*.

Alors la corde *r* est attachée à l'arrière du train D que nous avons laissé en *y*, et la corde *i* à son avant ; le tambour T est dégagé de l'action de la machine B, et le tambour *z* réengagé tire à lui le train D.

De même la corde *g* est attachée à l'arrière du train E, que nous avons laissé en *e k*, et la corde *f* à son avant ; le tambour S est dégagé de l'action de la machine B, le tambour U réengagé est mu par la machine A , et tire à lui le train E.

Les deux trains continueront à s'éloigner de plus en plus, par l'effet combiné d'autres machines au-delà de A et de C ; tandis que deux autres trains qui viennent d'arriver à ces stations iront se croiser à la station B.

Tel est le mouvement de ce système, nommé *réciprocating*, de l'action réciproque de chaque tambour l'un par rapport à l'autre.

2° Les trains tirés en même temps.

Au lieu de faire mouvoir les deux tambours de chaque machine l'un après l'autre, on peut les faire agir ensemble ; ainsi les tambours S et T peuvent tirer à eux à la fois les trains E et D , auxquels sont toujours attachées deux cordes d'arrière *f* et *i* qui les suivent : ces trains se rencontrent et se croisent sous les tambours de la machine B ; on détache toutes les cordes , la corde arrière d'un train devient la corde avant de l'autre , les

tambours S et T sont dégagés tous deux, les tambours U et z engagés sont mis en mouvement et font avancer, le premier le train E vers A, le second le train D vers C ; la machine B reste inactive. Cette manœuvre exige des machines plus puissantes.

Les deux procédés ont leurs inconvéniens; dans le premier, chaque train s'arrête pour en attendre un autre ; dans le second, les trains marchent toujours, mais des machines plus fortes restent inactives.

Dans le sytème réciprocating il y a toujours une corde dans l'axe du railway, et lorsqu'on rencontre une grande route au même niveau, il faut préserver la corde de l'action des roues des voitures et des pieds des chevaux. Pour cela, on la fait passer dans des espèces de buses en bois ou en fonte, dont le dessus peut tourner sur des gonds. Un enfant continuellement chargé du soin d'ouvrir et de fermer ce conduit, prévient les passans qu'un train va traverser la route.

> Machines à vapeur fixes, sans condensation.

Les machines fixes des chemins de fer sont généralement à haute pression et sans condensation ; la manœuvre des waggons demande que le moteur agisse par intervalle , et avec plus d'énergie au commencement de chaque reprise du mouvement ; les machines à condensation qui développent plus de force après quelques instans de jeu , paraissent donc moins propres que les premières aux mouvemens des plans inclinés.

En général, tout ce que nous avons dit des machines fixes et des plans inclinés ne s'applique pas aux chemins de grande vitesse ; il en est de même du système réciprocating, où les waggons ne marchent qu'avec 3 ou $4^{m},00$ de vitesse.

> Résultats de machines fixes.

Résultats de quelques machines fixes employées aux plans inclinés.

DÉSIGNATION.	FORCE des machines	PLANS INCLINÉS.		DIAMÈTRE de la corde.	MOUVEMENT ORDIN^re.	
		LONGUEUR.	PENTE.		Poids des waggons chargés montans.	Vitesse moyenne.
	chevaux	m.		m.	k	m.
Liverpool	50	1800	$\frac{1}{48}$	0,047	25000	3,90
Ste.-Hélène-Runcorn. .	40	400	$\frac{1}{30}$	0,047	24,000	1,66
Canterbury.	25	3000	$\frac{1}{76}$	0,043	40000	2,78
Idem.	25	1610	$\frac{1}{47}$	0,043	16800	3,57
Ivry (Épinac)	25	300	$\frac{1}{33}$	0,100 / 0,020	10800	0,50

NOTA. Il faut compter environ trois minutes de temps perdu entre chaque reprise de

mouvement. La machine de Liverpool peut monter jusqu'à 40,000 kilog.; celle de Sainte-Hélène 32,000 kilog.; et celle d'Ivry 1',400 kilog. : à ce dernier plan la corde est plate.

HUITIÈME LEÇON.

Machines locomotives. **historique**.

D'après M. Wood, il paraît que Watt, dès 1769, eut l'idée des locomotives sur les chemins ordinaires; il en est fait mention dans le brevet qu'il prit à cette époque, et dans un autre de 1784.

En 1802, MM. Trevithick et Vivian prirent patente pour une machine locomotive sur les railways. En 1804, ils en firent l'essai sur un rail-road des mines de Merthyr-Tydvil; alors on croyait que la retenue des roues sur les rails n'était pas suffisante pour faire mouvoir une locomotive traînant des waggons.

Ce fut pour y suppléer qu'en 1811, M. Blenkinsop plaça le long des rails du chemin de Middleton une crémaillère sur laquelle s'engrenait une roue dentée de la locomotive; ce procédé est encore en activité aujourd'hui.

En 1812, MM. William et Ed. Chapman prirent une patente pour mouvoir les locomotives au moyen d'une chaîne tendue dans l'axe des railways; elle faisait plusieurs tours sur un treuil ou passait dans la gorge d'une roue dentée, lesquels, mus par la machine, faisaient avancer ou reculer le système, la chaîne étant fixée aux deux extrémités. Ce procédé, essayé près de Newcastle, fut abandonné, le grand frottement usant la chaîne et la machine sortant souvent de la voie.

En 1813, M. Brunton prit une patente pour faire marcher des locomotives au moyen de deux jambes s'appuyant sur le terrain, et agissant comme celles d'un homme qui tire en se reculant.

Enfin on reconnut que la retenue des roues était suffisante pour permettre aux machines locomotives de traîner des waggons, quand les pentes étaient faibles, et alors on ne chercha plus d'autres points d'appui.

Une machine locomotive est un chariot à quatre ou six roues, qui porte un foyer, une cheminée, une chaudière, et sur lequel sont fixés un ou deux cylindres à vapeur, dont les pistons font mouvoir des manivelles attachées aux roues; l'élasticité de la vapeur produit l'effet d'un ressort comprimé dont une extrémité serait fixée au train du chariot et l'autre au rayon de la roue. Ce ressort, en se débandant, éloignerait le point d'attache sur la roue du point d'attache sur le chariot, c'est-à-dire qu'il ferait tourner la roue et par conséquent avancer le chariot. On peut donc considérer la vapeur

comme une force extérieure appliquée à la circonférence des roues, agissant parallèlement au rail.

Les waggons qu'on attachera à la locomotive lui opposeront une résistance égale à leur frottement, si le tout se meut sur un railway de niveau. On conçoit qu'il y aura un certain nombre de chariots qui empêch erala machine d'avancer, mais en augmentant la force de la vapeur, on pourra toujours faire tourner les roues, c'est-à-dire que celles-ci, au lieu de s'appliquer sur les rails, comme un cylindre qu'on développe sur un plan, tourneront sous la machine fixe, en glissant et frottant fortement contre les rails.

Si la locomotive monte, au lieu d'être sur un chemin de niveau, elle aura à vaincre, outre les frottemens, une partie de son poids et de celui des waggons. Il y aura donc une pente telle qu'elle ne pourrait faire monter aucun waggon ni même son propre poids, et l'action de la vapeur se bornerait à retenir la locomotive sur la pente en faisant tourner les roues dans la même place.

Force de retenue des roues sur les rails.

Ces effets dépendent de la retenue des roues sur les rails : si, à l'exemple d'une des premières inventions, les roues et les rails étaient dentés, le glissement des roues deviendrait impossible ; on peut concevoir que la retenue vient de la pression et de l'engrenage des aspérités extrêmement petites des surfaces en contact. Quand les roues glissent, ces aspérités sont surmontées ou brisées. L'expérience apprend qu'effectivement les roues et les rails s'usent beaucoup quand les roues glissent, et qu'elles glissent d'autant plus facilement qu'il y a de boue, de neige ou de poussière sur les rails ; cette résistance est à son maximum quand ils sont entièrement secs ou mouillés, c'est le contraire de ce qui a été trouvé pour la résistance par développement.

Il est important de connaître la résistance de retenue qui règle la quantité de waggons que peut traîner une locomotive, et la pente qu'on ne peut dépasser dans le tracé. Si pour la déterminer on enrayait les roues d'une lomocotive, et qu'on la tirât sur un railway, le frottement (égal au $\frac{1}{7}$ de la pression, d'après M. Morin) ne serait probablement pas le même que la retenue dont il s'agit, parce que les secousses imprimées par le mouvement de la machine altèrent la pression.

Expériences de M. Wood.

Pour en trouver la valeur, M. Wood a fait monter une lomocotive sur une pente donnée, en lui faisant traîner autant de waggons qu'il était possible sans que les roues glissassent. Connaissant les poids des waggons et de la locomotive, l'inclinaison du chemin et les frottemens, il en a

conclu le rapport de la résistance de retenue au poids de la machine ; ces expériences directes ont donné en fraction de ce poids pour des rails en fonte :

Rails très secs. . . . . pente $\frac{1}{104}$, les roues ne glissant pas, $\frac{1}{9}$.

Idem, en mauvais état et avec boue, pente $\frac{1}{134}$, vitesse 1,77, roues glissant très peu, $\frac{1}{17}$.

D'autres ingénieurs ont trouvé en opérant de même :

Rails humides et avec poussière de charbon, les roues glissant . . . . $\frac{1}{20}$.

Idem. . . . . *idem*. . . . . les roues ne glissant pas. $\frac{1}{24}$.

Idem. avec une autre machine, ... les roues glissant très peu, $\frac{1}{16}$.

Idem. . . . . *idem*. . . . . *idem*. . . . . . $\frac{1}{18}$.

Des observations de plusieurs années sur les machines de Killingworth ont donné à M. Wood un rapport moyen de $\frac{1}{20}$ en beau temps, et $\frac{1}{25}$ par le plus mauvais temps; et eu égard à ce que les nouvelles machines sont plus perfectionnées, il admet, comme règle pratique, qu'en toute saison le tirage d'une locomotive peut être le $\frac{1}{20}$ de son poids.

Les données expérimentales suivantes font présumer que dans la plupart des cas, ce rapport est un minimum.

Tirage de locomotives en fractions de leur poids.

Tirage de locomotives sur des chemins en activité.

NOM DU CHEMIN.	PENTE EN		VITESSE.	TIRAGE.
	MONTANT.	DESCENDANT.		
Darlington	. . . .	en descend.	. . . .	$\frac{1}{20}$
idem	$\frac{1}{100}$	. . . .	m. 1,77	$\frac{1}{13}$
Bolton.	$\frac{1}{830}$	. . . .	2,66	$\frac{1}{22}$
Liverpool.	$\frac{1}{800}$	. . . .	. . . .	$\frac{1}{17}$
idem	$\frac{1}{89}$	. . . .	4,00	$\frac{1}{20}$
idem	$\frac{1}{96}$	. . . .	. . . .	$\frac{1}{20}$
idem	$\frac{1}{96}$	. . . .	3,55	$\frac{1}{12}$
Sainte-Hélène Runcorn . . .	$\frac{1}{30}$	. . . .	. . . .	$\frac{1}{10}$
Roanne	$\frac{1}{85}$	. . . .	5,50	$\frac{1}{6}$

NOTA. Les deux derniers exemples ne se rapportent pas à un mouvement habituel et doivent être regardés comme des faits exceptionnels.

Dans la détermination de tous les rapports précédens, le coefficient du frottement total des waggons et de la machine a été supposé, il n'a point été reconnu par une observation particulière aux rails parcourus dans chaque expérience. Or ce frottement varie suivant l'état des rails ; il reste donc de l'incertitude sur l'évaluation du rapport précité.

L'état des rails influe doublement sur le résultat desexpériences, puisque les mêmes causes qui diminuent la retenue des roues des locomotives augmentent le frottement total des waggons. Ainsi nous voyons dans le rapport du second semestre de 1833, sur le chemin de Liverpool, que le temps orageux de l'hiver dernier rendait les rails tellement boueux qu'il fallait souvent ajouter une locomotive de renfort, *même sur les parties de niveau.*

En admettant le rapport de $\frac{1}{20}$ pour la retenue d'une locomotive, et celui de $\frac{1}{200}$ pour le frottement total, et nommant : Pente maximum pour les locomotives.

$\frac{1}{m}$ la plus grande pente cherchée d'un railway ;

L, le poids d'une locomotive ;

W, celui des waggons, on a

$$\frac{L}{20} = \frac{L+W}{200} + \frac{L+W}{m} \qquad \text{d'où} \qquad \frac{1}{m} = \frac{9L - W}{200(L+W)}\ ^{*}$$

La quantité d'action utile d'une machine locomotive de dix chevaux a été estimée moyennement par M. Wood, à 20 ou 28 tonneaux transportés avec 6m,70 de vitesse. Quantité d'action utile des locomotives.

Voici les résultats des transports et des dépenses des locomotives du chemin de Liverpool pendant les deux dernières années.

ANNÉES.	DÉPNSES d'un SEMESTRE.	TONNEAUX EN		NOMBRE DE TRAINS EN		Prix par to et par lieue 4000 m non compris retour à vide.	
		Voyageurs.	Marchandises.	Voyageurs.	Marchand.	Voyageurs.	Marchandises.
1832	f 264500	to. 13900	to. 64000	2636	2482	f. 0,792	f 0,172
	316100	14600	90000	3363	1890	0,901	0,146
1833	367800	13600	111000	3262	2244	1,126	0,138
	349100	17000	113000	3253	2587	0,855	0,128

NOTA. Il y a à peu près dix machines de 24 chevaux roulant sur le chemin. La distance

* Formule du Cours de Machines de M. Navier, pag. 151.

parcourue est de 48000^m, On a supposé un poids de 80 k. par voyageur. La vitesse moyenne est de 8^m,00 pour les voyageurs et de 5^m,00 pour les marchandises.

Chaque machine de 24 chevaux a donc pu transporter 49 tonneaux avec environ 5^m,00 de vitesse, ce qui s'éloigne peu des données de M. Wood.

Les rapports publiés par la compagnie, d'où sont extraites les données précédentes, ne distinguent pas les dépenses de locomotion des voyageurs de celles des marchandises. Si les vitesses étaient les mêmes, les dépenses seraient en raison du nombre de trains ; mais il y a des frais proportionnels au temps du mouvement comme ceux du coke et des conducteurs, et d'autres en raison inverse, comme les réparations des machines qui se détériorent d'autant plus qu'elles marchent rapidement. Les dernières colonnes du tableau ont été calculées en partageant les dépenses par moitié.

Si on admet les résultats du second semestre de 1833, on voit que le tonneau des marchandises transporté à 4000^m avec 5^m de vitesse coûte 0^f,13 et 0^f,85 pour les voyageurs transportés avec 8^m,00 de vitesse. Sur le chemin de Darlington, il paraît que ce prix ne s'élève qu'à 0^f,10 pour les marchandises mues avec 4 à 5^m de vitesse ; mais il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit uniquement des frais dela force motrice, et qu'il faudrait les doubler pour les marchandises et les tripler pour les voyageurs, s'il s'agissait du coût total du transport sur le railway de Liverpool.

Ces données comparées, à celles de même nature pour le moteur cheval, établiraient le rapport des dépenses des deux modes de transport à différentes vitesses, s'il n'y manquait quelques élémens essentiels, notamment la détérioration du chemin, dont l'entretien est d'autant plus dispendieux que la vitesse est grande, mais dont la valeur encore peu connue pour chaque degré de vélocité rend la conclusion incertaine.

Cette comparaison nous conduit naturellement à parler des dégradations et de l'entretien des railways.

Des effets du roulage sur les railways.

Dans le roulage des chemins de fer, comme sur nos routes, le moteur et les véhicules sont actifs et amènent la destruction ; mais les railways, moins passifs que les chaussées, réagissent en résistant : l'action et la réaction méritent d'être examinées.

Action des waggons.

L'action des waggons consiste à heurter les rails aux joints, à les écarter, à les faire plier, et même à les rompre ; à ébranler les stones, à les pousser et à les enfoncer.

Choc des roues contre les rails.

Quand on voyage sur un chemin de fer on ressent ou on entend un petit

choc qui a lieu à chaque joint ; bien que deux rails s'affleurent parfaitement, le petit jeu qui est entre eux suffit pour que l'application de la jante de la roue ne se fasse pas avec continuité et qu'il y ait choc dans le passage d'un rail à l'autre.

La percussion est plus marquée s'il y a différence de niveau entre les extrémités des rails. Quand la roue s'élève sur la saillie, le choc est plus fort que lorsqu'elle en descend ; c'est un fait que j'ai souvent eu lieu de constater. Dans le premier cas, le choc a lieu avant que le centre de la roue ait passé verticalement sur le joint, et le rail sur lequel elle va rouler est poussé avant que la roue ait monté dessus. Dans le second cas, la secousse a lieu après que le centre de la roue a passé sur le joint, et le rail qu'elle quitte est faiblement repoussé en arrière au moment où la roue tombe.

Ainsi les rails qui font saillie tendent toujours à avancer dans un même sens, quelle que soit la direction des waggons ; et comme il y a à peu près autant de rails qui font saillie dans un sens que dans l'autre, les effets peuvent se compenser. Mais si la pente est forte, si le commerce descendant est prédominant, les waggons descendans heurtent les rails saillans avec plus de vitesse et plus de masses que les waggons montans. Les rails se poussent donc plus d'un côté que d'un autre et ont tous une marche progressive vers l'aval.

Au chemin de Lyon, tous les rails ont avancé de Saint-Etienne vers Rives-de-Gier, et même de Rives-de-Gier vers Givors, en glissant dans les chairs dont ils sont près de sortir sur plusieurs points ; toutefois à la cause précédente, il faut ajouter l'entraînement des rails par les roues, car dans cette partie du chemin, qui n'est qu'une suite de sinuosités, les deux roues jumelles, pour avoir la même vitesse, glissent ou frottent sur les rails et les entraînent plutôt en aval qu'en amont ; le frottement latéral est aussi plus considérable quand les waggons descendent, à cause de la grande vitesse et de la force centrifuge. Mouvement de toute une ligne de rails.

La marche des rails, qui prouve la force avec laquelle sont poussés les chairs et les stones, est un mouvement difficile à arrêter ; il paraît qu'il n'a pas lieu quand les rails sont retenus dans les chairs par des chevilles transversales ou par des coins de fer. On cherche à y remédier au chemin de Lyon, en donnant au patin des chairs de joints une saillie contre laquelle butte l'extrémité des rails échancrée à cet effet, *fig.* 103. Un rail ne sera donc retenu que par la résistance latérale d'un seul stone contre le terrain. L'expérience apprendra si elle sera suffisante.

Les roues des waggons produisent l'écartement des rails en s'approchant Ecartement des rails

plus d'une ligne que de l'autre. Les rebords poussent chaque rail en dehors, ce qui augmente la voie. Cette pression latérale est démontrée par l'usure des roues, qui a lieu principalement dans l'angle de la jante et du rebord.

Plusieurs causes jettent les waggons de côté :

1° La force centrifuge, dans les parties courbes ;

2° Le vent, lorsque sa direction n'est point parallèle aux rails ;

3° Le roulis des chariots, lorsque les rails des deux lignes ne sont pas de niveau sous un essieu ;

4° Les roues mal cintrées ;

5° Les changemens de voie ;

6° La traction des waggons les uns par les autres, lorsqu'ils s'arrêtent, se mettent en mouvement ou augmentent brusquement de vitesse ; car le tirage ne se faisant pas toujours dans la direction des centres de gravité, quel que soit le mode d'attache, les waggons pivotent et poussent les rails en dehors des deux côtés.

Enfoncement des stones, flexion des rails.

La flexion des rails, et surtout l'enfoncement des stones, sont les détériorations les plus funestes et les plus fréquentes des chemins de fer ; elles sont devenues très fortes depuis qu'on emploie des machines locomotives, et elles ont augmenté dans une progression inattendue, quand on les a fait marcher avec des vitesses de 14^m à $20^m,00$.

Examinons en détail l'effet du roulage sur les rails et les stones.

Soit un railway de niveau, système de Liverpool, rails de $4^m,55$ soutenus et serrés sur chaque stone dans les chairs à $0^m,91$ d'intervalle ; supposons que le terrain a une résistance uniforme mais non suffisante ; on doit croire que le stone de joints s'enfoncera plus que les autres, car le point de la ligne des rails où il y a solution de continuité est le plus faible. Si ce stone s'enfonce, le rail qui s'appuie sur lui au passage d'un waggon, se courbera et deviendra convexe près du stone adjacent.

D'un autre côté, le sol fléchissant sous les stones du milieu, le rail pliera dans cette partie sous le poids des waggons, et ensuite se rétablira dans son état primitif par l'élasticité propre du fer, et parce qu'il y est rappelé par les chairs qui le retiennent fortement, comme le prouvent les expériences de M. Wood (pag. 10). Le milieu du rail se redressera donc dans les mêmes circonstances où l'extrémité aurait éprouvé une courbure permanente, et *même il relèvera le stone abaissé.*

Ainsi au passage de chaque waggon, le stone s'enfonce et se relève, le terrain pilonné baisse de plus en plus, ainsi que le stone ; le mal s'aggrave s'il y a de l'eau dans le sol ou à la superficie ; elle s'introduit avec prompti-

tude dans l'espace vide que le stone laisse sous lui, y séjourne, amollit le terrain, et le stone s'y enfonce encore plus.

Tel est à peu près ce qui se passe, et ce que l'on peut observer, en examinant attentivement le mouvement des stones et des rails sous les waggons après de grandes pluies.

Choc contre les joints quoique bien arasés.

Ainsi le milieu du rail, qui paraît devoir résister plus que les extrémités, peut au contraire s'enfoncer davantage par cela même qu'il se relève plus facilement que les bouts. Un rail qui est dans ce cas devient très concave au moment où un waggon est dans le milieu ; le joint s'ouvre en haut, les angles se relèvent et peuvent faire une saillie contre laquelle heurtent les secondes roues du même waggon, ou celles du waggon qui le suit. Cela explique comment il peut y avoir des chocs assez forts lors du mouvement des chariots, bien que le chemin paraisse uni avant leur passage ; surtout lorsque le patin des chairs de joints n'est pas convexe, précaution qui paraît bonne pour prévenir l'effet dont nous parlons, et qu'on a prise au chemin de Leeds et Selby, *fig.* 23.

Remarquons que la courbure permanente que prendrait un rail, par la cause que nous venons d'examiner, ne détruisant pas toute l'élasticité, l'effet du pilonnage aurait toujours lieu; le rail se courberait de plus en plus et la détérioration du chemin augmenterait.

Flexion des rails pendant le roulage.

La flexion des rails et l'enfoncement des stones ou des traverses en bois, sont des faits d'observation ; non seulement les rails fléchissent dans toute leur longueur, mais même entre deux appuis. Sur le pont en maçonnerie de Manchester, j'ai vu des rails plier sensiblement sous le poids d'une locomotive qui venait avec son allége se placer à la tête d'un train ; elle ne marchait pas plus vite qu'un homme au pas. A l'instant où une des roues allait passer sur un joint, on voyait le rail qu'elle quittait se relever ; dès qu'elle avait dépassé le joint, on voyait baisser le rail sur lequel elle commençait à peser ; le joint restait constamment à la même hauteur. Ces mouvemens, très sensibles pour certains rails, nuls pour d'autres, et qui ne se faisaient point remarquer lors du passage de l'allége, étaient faciles à observer en cet endroit du chemin qui est entièrement pavé.

Aux chemins de Darlington, de Lyon, de Roanne, j'ai vu les rails plier sous le poids des locomotives et même quelques fois sous celui des alléges et des waggons.

Au chemin d'Epinac les rails plient au passage des waggons.

Cependant les expériences rapportées par M. Wood, et le calcul, n'indiquent, pour les poids dont il s'agit, que des flexions insensibles à l'œil ;

mais l'action d'une masse en mouvement sur les rails ne peut être assimilée à celle d'un poids en repos. Nous verrons d'ailleurs que la pression et la flexion peuvent être augmentées par la vitesse.

En supposant la résistance du terrain uniforme, on peut admettre que l'excès d'enfoncement des stones du milieu sur celui des joints sera le même dans chaque ligne d'une voie ; en conséquence, si les joints sont vis-à-vis les uns des autres, comme au chemin de Lyon, les ondulations des deux lignes se correspondront ; et si les joints alternent, les convexités d'une ligne seront vis-à-vis les concavités de l'autre, *fig.* 100. Cette dernière disposition adoptée dans l'origine au chemin de Liverpool, explique peut-être les oscillations horizontales des chars, qui ont lieu si fortement dans certaines parties. L'amplitude est quelquefois de $0^m,07$ et le nombre de 100 par minute.

Oscillations horizontales des waggons.

On doit donc se représenter une ligne de rails en fer malléable, non comme droite, mais comme ondulée verticalement. Les courbures sont plus ou moins prononcées selon l'enfoncement des stones, la force des rails, la fatigue du chemin et son état d'entretien.

On doit aussi supposer que le centre d'inertie d'un waggon parcourt une ligne ondulée à double courbure.

La flexion des rails croît avec la vitesse.

La flexion des rails et l'enfoncement des stones augmentent avec la vitesse du transport à cause des ondulations verticales. Considérons un waggon qui descend dans l'angle formé par deux plans inclinés opposés ; au moment où les roues rencontrent le plan sur lequel elles montent, il supporte, outre le poids du waggon, l'action de la composante de la vitesse perpendiculaire à ce plan, action d'autant plus forte que la vitesse est plus grande ; quoique la déformation d'un rail qui a fléchi ne présente pas un angle aussi prononcé, il y a action semblable du waggon sur la partie du rail où il va monter ; dans le cas où la courbure est régulière, il y a un surcroît de pression dû à la force centrifuge qui augmente comme le carré de la vitesse. Avec les ondulations et les vitesses qui ont lieu quelquefois, le poids des masses roulantes est presque doublé ; ainsi, en supposant que la courbure soit celle d'un arc de cercle de $0^m,002$ de flèche et $0^m,90$ de corde, dont le rayon est de 50 mètres, l'augmentation de pression due à la force centrifuge, pour une vitesse de 20 mètres, serait $\frac{v^2}{gr} = \frac{(20)^2}{9.80 \times 50} = 0,81$ du poids roulant.

Chute des roues sur les rails.

Il peut y avoir des circonstances où la grande vitesse fait tomber les roues sur le milieu de l'intervalle des appuis. Supposons 1°, que le premier

stone après celui du joint se soit enfoncé, et que le rail courbé ait baissé à ce point de $0^m,003$: 2°, que l'extrémité du rail précédent dépasse celle du rail courbé de $0^m,002$, *fig.* 101. Si la vitesse est de 13 à 14 mètres, la roue, après avoir quitté le rail élevé, s'avancera sans toucher le rail courbé, jusqu'à ce qu'elle tombe sur lui à environ $0^m,38$ du joint, distance de l'intersection de la parabole décrite par la roue, avec la courbure du rail, supposée un arc de cercle.

Une autre disposition qui produit le même effet est celle où le stone de joint est plus élevé que les deux stones adjacens, *fig.* 102 : la roue, dans le cas d'une très grande vitesse, s'élève en quittant le joint, et retombe sur le rail un peu plus loin.

La grande vitesse produit encore un autre effet destructeur sur les chemins en fer malléable. Les rails, les chairs et les stones forment un ensemble dont l'élasticité est démontrée par les oscillations verticales qu'on observe au passage des trains. On peut les attribuer en partie à l'élasticité du terrain; mais en somme ces oscillations sont très fortes sur la terre, les remblais et les traverses en bois; elles sont produites par l'action successive des roues sur les rails, qui, après avoir fléchi, reviennent à leur première position. On conçoit que, selon le temps que les parties abaissées mettent à se relever, l'arrivée d'une nouvelle masse sur elles peut coïncider avec le commencement ou le maximum de la vitesse ascendante. Dans le premier cas, la roue descend dans la concavité du rail qui fléchit davantage, et la courbure augmente à chaque waggon; dans le second, il y a secousse violente entre le rail et le waggon, qui se pressent en sens contraire. Effet destructeur de la grande vitesse.

L'effet est analogue à ce qui a lieu quand on marche sur un madrier posé en travers d'un large fossé; si on règle son pas sur les balancemens du madrier, on éprouve peu de secousses, et le madrier plie de plus en plus; s'il n'y a point accord entre les pas et les oscillations, on ressent une violente réaction.

Ainsi dans le transport sur les railways élastiques, si les roues mettent moins de temps à se succéder que les rails n'en mettent à se relever, les effets destructeurs dont nous venons de parler auront lieu, et se reproduiront d'autant plus que la vitessse des waggons sera grande. Au chemin de Liverpool toutes les roues d'un train sont à peu près à $1^m,80$ d'intervalle, et la vitesse étant quelquefois de $20^m,00$, on voit qu'alors elles se succèdent à chaque onzième de seconde.

La réparation la plus fréquente des railways est l'exhaussement des stones enfoncés; lorsqu'elle ne s'applique qu'à quelques stones, on peut Réparation des railways.

9

l'exécuter sans interrompre le mouvement du chemin. L'opération consiste à déchausser le stone et à le soulever doucement avec un grand levier destiné à cet usage, *fig.* 89 *bis*. Pendant qu'il est ainsi soutenu d'un côté, un homme, au moyen d'une pioche qui a un bout plat coupé carrément, *fig.* 89 *ter*, pousse la terre sous le stone, et l'y comprime fortement. Cette manœuvre, exécutée sur deux ou quatre faces, relève le stone très peu à chaque fois, et sans qu'il sorte des alignemens où il doit rester.

Lorsqu'on doit relever les stones sur de longues parties d'un chemin, ou parce que le sol a permis l'enfoncement, ou parce que la masse générale du terrain a tassé, il faut prévoir l'urgence de la réparation, et préparer un chemin latéral pour suppléer au premier pendant la réfection.

Les accidens qui arrivent aux stones, outre l'enfoncement, sont les ruptures par la gelée ou par la dilatation des chevilles de bois, quand la pierre n'a pas assez de consistance. La plupart des stones du chemin de Liverpool, en grès rouge, ont éclaté. On a dû les remplacer par des stones d'un calcaire très dur du Cumberland.

Lorsque des rails sont hors de la voie ou défectueux ou même brisés, on peut facilement les redresser ou les remplacer en enlevant les coins.

Les accidens qui arrivent aux chairs dépendent de leur forme et de la nature des coins. Au railway de Liverpool on voit une très grande quantité de chairs cassés : la rupture a eu lieu à la *joue*, et a été produite par les coins de fer chassés avec trop de force et quelquefois par le choc des rebords des roues. Au chemin de Lyon, où il y a des secousses assez fortes, les forces vives sont en partie usées par l'élasticité des coins de bois, et on ne voit presque point de chairs cassés aux joues, quoiqu'ils soient beaucoup plus faibles qu'à Liverpool. On avait d'abord employé les coins en fer; mais on y a renoncé, parce qu'ils avaient fait casser beaucoup de chairs à la pose des rails. Lorsque les coins sont très aigus, ils entrent avec une grande facilité, et un coup de marteau appliqué un peu trop fort fait partir la joue.

Les chairs rompent aussi dans le patin, quand ils portent à faux sur le stone : cela arrive ordinairement aux chemins de Roanne, de Lyon et de Saint-Étienne, où les stones sont en granit excessivement dur et difficile à bien dresser. A Roanne on a posé quelques chairs sur une planchette de bois.

Écoulement.

L'écoulement de l'eau est un point essentiel de la conservation des chemins de fer. En général, ils n'ont que de très faibles pentes en longueur, et ce n'est pas dans ce sens qu'on peut espérer de se débarrasser des eaux

pluviales, excepté sur les plans inclinés. Il faut donc rejeter les eaux latéralement; et comme les rails forment un obstacle non interrompu qui retient l'eau dans le milieu de la voie, il faut nécessairement pratiquer de petits caniveaux sous les rails entre les stones.

Lorsqu'il n'y a qu'une voie, on fait les caniveaux sous une ligne de rails, du côté de la pente générale du terrain; quand il y a deux voies, on est obligé, à cause de l'entrevoie, de pratiquer les caniveaux au moins sous trois lignes de rail.

Lorsque le terrain est de nature à absorber ou à laisser infiltrer l'eau de la pluie très promptement, les caniveaux deviennent inutiles; c'est ce qu'on peut remarquer aux railways d'Angleterre sur remblai de schiste, de scorie ou même de houille, et au chemin sur gravier entre Lyon et Givors. Mais si le sol est gras et s'il y a des flaques après la pluie, il faut dresser le terrain en pente à partir de chaque stone, *fig.* 14, pour en éloigner l'eau: à la rencontre des deux pentes on fait un caniveau qui a une légère inclinaison transversale à l'axe du railway et porte l'eau à l'extérieur.

Plus les caniveaux sont profonds, plus ils sont favorables à l'écoulement, mais aussi plus ils affaiblissent la résistance latérale du terrain contre les stones qui ont besoin de cet appui. On a remédié heureusement à cet inconvénient au chemin de Roanne, en remplissant les caniveaux de cailloux arrondis, ils soutiennent les terres tout en laissant filtrer l'eau facilement, *fig.* 24.

Entretien

Il en est de l'entretien des railways comme de celui des routes; on ne conserve la viabilité, ou n'arrête à temps le progrès des dégradations qu'au moyen de réparations continuelles. Elles ne peuvent être exécutées par des ouvriers isolés, il faut des ateliers de deux ou trois hommes réunis. C'est ainsi qu'ils sont disposés sur les chemins de Darlington et de Liverpool: sur ce dernier, il y a à peu près deux ouvriers par 1200^{m},00 de voie simple; il y a en outre des hommes à poste fixe chargés de tenir libre le passage des rebords des roues et de nettoyer le dessus des rails.

Dépense d'entretien.

Il est encore bien difficile d'assigner la dépense d'entretien des chemins de fer, bien qu'ils aient entre eux plus de similitude que les routes ordinaires; on voit qu'à même fatigue, il y a des différences dans les dimensions des rails et des stones, dans le système d'attache des chairs et enfin dans la résistance du sol. Voici quelques aperçus qui serviront de points de comparaison.

Entretien des railways.

CHEMINS.	MOTEUR	POIDS DES		TONNAGE MOYEN.		VITESSE MOYENNE.		PRIX
		Wagons.	Locomotives	Marchandises.	Voyageurs.	Marchandises.	Voyageurs.	DU MÈTRE de voie simple
		tonn.	tonn.	tonneaux.	tonneaux.	mètres.	mètres.	Main-d'œuvre. fr.
Darlington, partie supérieure	cheval.....	4	»	100,000	»	0,90	»	0,48
Idem partie infre.	locomotive.	4	7,5	450,000	»	5,00	7,00	1,08
Glascow.......	*idem*......	3,7	5 et 10	96,000	6,000	3,70	7,10	0,54
Liverpool......	*idem*......	5	8 et 12	210.000	32,000	5,4	7 et 10	1,98
Lyon........	chev. et loc.	4	6,5	100,000	16.000	3,9	4 et 8	0.54
								Main-d'œuvre et matériaux. fr.
Liverpool......	locomotive	5	8 et 12	210,000	32,000	5,4	7 et 10	3,28
Swannington...	*idem*......	»	7,5	70,000	7,000	6,6	6,6	1,17
Warrington....	*idem*......	4	7,5	70,000	»	5,0	5,0	1,17
Lyon.........	chev. et loc.	4	6,5	100,000	16,000	3,9	4 et 8	0,84

NEUVIÈME LEÇON.

Du tracé des chemins de fer.

Il nous reste à parler du tracé des chemins de fer, c'est-à-dire des alignemens et de la distribution des pentes.

Provisoires.

Nous n'avons rien à dire des chemins de service ; ces chemins, de peu d'étendue et de peu de durée, sont tellement appropriés à l'extraction et à l'emploi des matériaux qu'ils transportent, au genre de construction qu'ils desservent, que la spécialité décide tout.

Destinés aux marchandises.

Quant aux chemins de plusieurs lieues de longueur, destinés au transport des marchandises ou des personnes, ou de tous les deux à la fois, la question est susceptible de quelques généralités. Mais la solution est aussi incertaine, parce que les procédés de l'art n'ont point encore reçu la sanction du temps et de l'expérience, et sont trop récens pour être stables.

Peut-être pourrait-on dire que le tracé d'un railway est un problème de mécanique. Tout tracé de chemin suppose la connaissance du moteur et des véhicules qui doivent y être employés ; c'est ainsi que les largeurs, les pentes et les courbes des routes ont successivement changé selon qu'elles

ont dû être parcourues par les bêtes de somme, les charrettes et les diligences ; encore aujourd'hui nous les modifions souvent dans l'intérêt des voitures de grandes vitesses. Dans l'état actuel de nos connaissances sur les chemins de fer, la vitesse des véhicules n'est rien moins qu'arrêtée ; on ne peut dire quelle est celle qui convient le mieux, car l'entretien très dispendieux des machines et des railways de grande vitesse peut élever les prix du transport au-delà des sacrifices que le public est porté à faire pour voyager plus vite qu'avec des chevaux.

Plusieurs ingénieurs anglais pensent que lorsque la vitesse ne dépasse pas 4m,50 (4 lieues à l'heure), l'emploi des chevaux est plus économique. Au-delà de cette vitesse les opinions sont divergentes, et la question sera sans doute indécise tant qu'on ne sera pas éclairé sur les véritables dépenses des locomotives de grandes vitesses.

Instabilité des locomotives et des railways.

Pour connaître l'entretien des locomotives, il faudrait que leur construction fût moins variable : chaque jour amène des changemens notables dans ces appareils moteurs : il n'y a encore rien de fixe dans l'agencement des roues, ni dans leur jeu, leur diamètre et leur nombre. La force des machines, qui était de 8 à 10 chevaux il y a quatre ans, a augmenté successivement jusqu'à 50. Le poids, d'abord limité à 4to. $\frac{1}{2}$ pour les machines sur quatre roues, a été presque triplé depuis ; ensuite on est revenu à un poids moyen, puis enfin on paraît disposé à adopter des poids plus considérables. L'appareil calorifère et celui de la vaporisation n'ont pas eu moins de variations.

Tant de changemens ne doivent point étonner dans un moteur de création toute récente ; il devait subir et subira encore beaucoup de modifications.

Les mêmes réflexions s'appliquent aux railways. La force des rails, des chairs, des stones augmente avec le poids et la vitesse des locomotives. Le système du chemin a des modifications qui lui sont propres ; des ingénieurs proposent des assemblages de chairs qui rendent les stones susceptibles de mobilité comme un genou de Cardan ; d'autres veulent établir les rails sur longrines en bois et massif général de maçonnerie, etc., etc.

Toutefois, si l'on ignore le chiffre de l'entretien des machines et des chemins, on ne doute pas de l'excessive détérioration que leur fait éprouver la grande vitesse. On ne doit donc adopter celle-ci qu'avec réserve, et lorsqu'il est bien prouvé que les avantages surpasseront les inconvéniens.

C'est ce qui nous semble justifier la distinction que nous avons faite, au commencement de ces leçons, des chemins de fer destinés aux marchan-

dises, de ceux destinés aux voyageurs; car il est évident que la vitesse utile et désirée n'est pas la même dans les deux cas; et il paraît abusif de transporter les marchandises aussi vite que les voyageurs.

Grande vitesse utile aux voyageurs.

Le temps des hommes d'affaires est précieux; on peut considérer leur personne comme un capital à haut intérêt qui a plus de valeur que la plupart des marchandises de même poids. On doit donc chercher à abréger le temps de leur voyage perdu pour eux et pour la société.

En général, inutile aux marchandises.

En général, il n'en est pas de même des marchandises : non seulement elles ont une moins grande valeur relative, mais, par la nature de leur emploi, elles restent plus ou moins long-temps en dépôt après être arrivées. Ainsi on peut dire, à quelques exceptions près, que le temps (ou l'intérêt) perdu en transportant les marchandises moins promptement qu'avec des locomotives de grande vitesse, peut être négligé relativement à celui que perdent ces mêmes marchandises en magasin après être arrivées, d'où résulte l'inutilité d'un transport rapide et dispendieux.

On dit qu'il y a souvent à Manchester, dans les magasins du railway de Liverpool, pour 2,500,000 fr. de coton : c'est à peu près ce qui arrive en trois jours; il paraît évident que ces valeurs n'auraient rien perdu à rester quelques heures de plus sur le chemin, puisqu'elles seraient restées quelques heures de moins sous les hangars de la compagnie; et véritablement on ne concevrait pas pourquoi on transporte la houille aussi promptement sur ce railway, si un mouvement plus lent n'entravait celui des voyageurs qui ont besoin de la libre circulation des deux voies.

On objectera peut-être que l'existence du roulage accéléré en France démontre l'importance de la vitesse. Mais ce transport s'applique à peu de marchandises; le tonnage accéléré n'est au plus, sur les routes où il a lieu, que le quart de celui du roulage ordinaire, ce qui ne pourrait justifier ni soutenir l'établissement d'un chemin de fer de grande vitesse.

En second lieu, comme la vitesse ordinaire sur les chemins de fer sera au moins égale à celle du roulage accéléré, la question est de savoir si à partir de cette vitesse les avantages croîtraient en raison de l'augmentation de rapidité et des dépenses qu'elle occasionerait, ce qui n'est pas probable.

Enfin les marchandises qui pourraient supporter un péage élevé, parce qu'elles auraient beaucoup de valeur, sont, par cela même, d'un petit tonnage, et peuvent être assimilées aux voyageurs.

Au surplus, nous n'entendons point poser ici une règle sans exception; ainsi pour les bestiaux, pour les comestibles, pour les marchandises des-

tinées aux cargaisons des vaisseaux ne partant qu'à de longs intervalles, et dans quelques autres cas, la grande vitesse a des avantages particuliers.

Les chevaux et les locomotives employés indifféremment.

Revenons aux moteurs, et remarquons qu'à l'égard des avantages attribués aux chevaux pour les vitesses moyennes, il semble qu'il y a désaccord entre l'opinion et les faits.

Aux mines de Middleton le transport s'exécute depuis 20 ans avec des locomotives à l'exclusion des chevaux. Au chemin de Darlington, les chevaux sont employés sur des parties et les locomotives sur d'autres ; tout récemment les chevaux de la diligence de Darlington à Stockton ont été remplacés par des locomotives, lesquelles, à cause de la faiblesse des rails, ne vont guère plus vite que les chevaux. Aux chemins de Hetton, Killingworth, Sainte-Hélène, Whitstable, on emploie les deux moteurs.

En France nous voyons les chevaux et les locomotives employés concurremment sur les chemins de Roanne et de Lyon.

Peut-être faut-il conclure de ces exemples que le choix du moyen de transport tient aux localités, et qu'en général aucun des deux moteurs n'a un avantage bien marqué sur l'autre.

Le tracé le plus avantageux décide du moteur.

Considérée sous ce point de vue, la question change de face ; ce n'est plus le moteur qui doit commander le tracé, c'est le tracé qui, selon qu'il est plus ou moins avantageux avec tel ou tel moteur, doit décider le choix de ce dernier.

Motifs qui militent en France pour le cheval.

Forcé d'établir une base pour le plus grand nombre de cas, et considérant qu'aujourd'hui en France, 1° les besoins du commerce n'exigent pas une vitesse de plus de deux ou trois lieues à l'heure pour le transport des marchandises ; 2° que la houille est chère dans beaucoup de départemens ; 3° que les ouvriers capables de conduire et de réparer les machines à vapeur sont très rares, nous serons porté à conclure que le cheval sera généralement préféré aux locomotives, et que les projets de chemins de fer pour les marchandises doivent être conçus en conséquence.

Ceci admis, s'il y a transport dans les deux sens, le tracé sera d'autant plus avantageux qu'il s'approchera d'être horizontal, puisqu'alors le tirage des chevaux sera le moindre possible, et l'effet utile le plus grand.

Tracé relatif au commerce descendant.

Les railways, comme nous l'avons dit, partant en général d'une mine ou d'une carrière, et arrivant à un lieu d'embarquement, il y a très souvent prédominance du commerce descendant. On pourrait donc, s'il n'y avait aucune marchandise montante, régler la pente de manière que le tirage fût le même dans les deux sens, c'est-à-dire la faire de $\frac{1}{110}$ (en

supposant le frottement total de $\frac{1}{180}$ et les waggons chargés trois à quatre fois plus pesant que les waggons vides).

Waggons pleins et chevaux descendus par la gravité.

Cette inclinaison est très faible, et trouverait peu d'application ; on peut lui substituer celle sur laquelle les waggons descendent seuls avec une vitesse modérée, laquelle, d'après nos hypothèses, est un peu plus forte que $\frac{1}{130}$; dans ce cas, on n'emploierait les chevaux qu'à la remonte des waggons vides, et on les transporerait eux-mêmes en descendant, comme au chemin de Darlington ; ce qui paraît être un procédé très avantageux.

Cette pente, qui ne serait qu'un long plan incliné, a des inconvéniens quand le terrain est tourmenté et lorsqu'il n'y a qu'une voie. Les waggons, qui doivent se croiser, ne se voyant pas d'assez loin, à cause des mouvemens du terrain, n'ont pas toujours le temps de s'éviter.

Dans l'hypothèse dont nous parlons, il conviendrait d'adopter des pentes d'autant plus douces qu'elles seraient plus longues, afin d'éviter une trop grande accumulation de vitesse, et de n'être pas obligé de faire agir les freins trop fortement.

Au chemin de Saint-Etienne à Rives-de-Gier, sur une pente de $\frac{1}{76}$, les diligences descendent avec une vitesse réduite de 5^m,50 en faisant un usage presque continuel du frein ; elles acquièrent très promptement une vitesse de 8^m,00, que l'on ne dépasse guère. De Rives-de-Gier à Givors, sur une pente de $\frac{1}{166}$, la vitesse moyenne est de 4^m,00, et la vitesse maximum de 6^m,00. Il faut observer que de Saint-Etienne à Givors le chemin n'est souvent qu'une suite de sinuosités qui forcent à modérer la vitesse à tout moment pour s'opposer à un accroissement dangereux de la force centrifuge. La pente de $\frac{1}{166}$ est donc bien suffisante pour le cas où les chevaux seraient voiturés en descendant. Toutefois, dans la partie du chemin de Darlington où ce système est adopté, il y a une pente de $\frac{1}{136}$ qui a plus de 2000^m de longueur.

Pour plusieurs chemins de fer, desservant des mines eu Angleterre, on a suivi les principales inflexions du terrain, quand il descendait toujours jusqu'au point d'arrivée ; on s'est contenté, par de faibles déblais ou remblais, d'avoir une suite de pentes uniformes qui, sur des longueurs de quelques cents mètres, ne dépassent pas $\frac{1}{96}$, et sur lesquelles un cheval développe jusqu'à 140 k. de tirage en remontant les waggons vides.

Des pentes plus fortes parcourues par les waggons chargés et les chevaux attelés, seraient aussi dangereuses à descendre que fatigantes à remonter à vide. On en a vu des exemples au chemin d'Andrezieux, où des chevaux ont été blessés sur une pente de $\frac{1}{60}$. Le danger est d'autant plus grand que

le chemin est bien entretenu, et les waggons bien roulans; ce qui est à désirer pour monter les pentes, est à craindre pour les descendre.

Jusqu'à présent on a été porté à croire qu'un effort toujours égal fatigue moins le cheval, et qu'en conséquence l'effet utile serait plus grand, si l'on n'admettait qu'une seule pente dans le tracé d'un chemin de fer. Cependant si nous considérons qu'au chemin de Darlington on a obtenu un surcroît d'effet, en coupant le temps du travail par des intervalles de repos complet, que sur le chemin de Lyon on a des exemples d'un tirage double qui ne se paie que le tiers en sus, et qu'enfin beaucoup de railways ont des pentes qui varient à chaque centaine de mètres, nous penserons que si l'uniformité des pentes est désirable pour les manœuvres et la conduite du roulage, ses avantages ne sont pas démontrés quant à la fatigue des chevaux.

On peut encore, toujours dans le cas du commerce descendant prédominant, avoir plusieurs lignes de niveau à divers étages, réunies par des plans inclinés où les waggons vides ou peu chargés remonteront par le système self-acting.

Passage d'un versant dans un autre.

S'il faut passer d'un versant dans un autre, on cherchera le minimum du faîte, et on examinera s'il est possible d'y parvenir par un seul niveau, ou en s'élevant par une faible rampe. Si dans ces deux cas on arrive beaucoup au-dessous du sommet, et qu'une tranchée ou un souterrain soit trop dispendieux, il vaudra mieux arriver au bas du seuil par la pente d'égal tirage dans les deux sens ($\frac{1}{110}$) et franchir le faîte par deux plans inclinés opposés. Cette disposition est facile quand le seuil a peu d'étendue. S'il a plusieurs centaines de mètres, on examinera si on peut ramener la position des plans au cas précédent, en allongeant les deux pentes à partir du bas, et en arrivant à deux points rapprochés du sommet, où on établirait une machine à vapeur dans le système de celle de Brusselton.

L'obstacle le plus ordinaire à cette disposition est la faiblesse des pentes et la grande longueur des plans inclinés, d'où résulte l'impossibilité de faire descendre la corde par le nombre ordinaire des waggons vides, composant un train.

Si le sommet du seuil a une grande étendue, on placera une machine à vapeur fixe du côté où les waggons chargés doivent monter, et un plan incliné dans le système self-acting à l'autre versant.

Du pied de ce plan incliné, on conduira le chemin d'une seule pente, ou de niveau jusqu'au lieu d'arrivage des waggons, ou enfin, par plusieurs étages, et autant de plans inclinés self-acting. Dans l'établissement de ceux-ci, on aura soin de leur donner une pente assez forte pour que la

vitesse et le temps de la manœuvre satisfassent au mouvement commercial présumé.

Si le tonnage des marchandises est égal dans les deux sens, il paraît nécessaire que le chemin soit composé de parties de niveau, ou presque de niveau à différens étages, et réunies par des plans inclinés. Les hauteurs des étages, et les positions des plans inclinés sont évidemment commandées par le relief du terrain, et la facilité de développer les parties de niveau. Elles dépendent des localités; ce n'est point au premier aspect qu'on peut juger la question, elle demande une étude approfondie du terrain, et des essais dans différentes directions.

On voit par ce qui précède, que le tracé d'un chemin de fer pour marchandises, et fréquenté par les chevaux, a beaucoup d'analogie avec celui d'un canal où les écluses seraient remplacées par des plans inclinés; c'est à l'ingénieur à chercher les emplacemens où les ouvrages exigeront le moins de dépenses d'établissement, et en même temps satisferont aux besoins du commerce.

Chemins de grande vitesse.

Supposons maintenant qu'il s'agisse de tracer un chemin de fer de grande vitesse, et où, par conséquent, on n'emploie pour moteur que les machines locomotives.

On entend aujourd'hui par chemin de grande vitesse, celui qui peut être parcouru par des voitures faisant de six à neuf lieues à l'heure. Il n'existe encore qu'un seul chemin de cette espèce, celui de Liverpool à Manchester, c'est donc uniquement de cet exemple qu'on peut tirer quelques données d'expérience.

Pour que les diligences parcourent six à neuf lieues à l'heure, ou qu'elles aient une vitesse moyenne de 7 à 10^{m}, il faut, à cause des ralentissemens, ou des momens d'arrêt indispensables, que la vitesse s'élève quelquefois jusqu'à 14 et 15^{m}.

Les plus grandes vitesses que j'ai observées sur le chemin de Liverpool en divers voyages ont été :

Vitesse maximum du chemin de Liverpool.

Vitesse.	Espace parcouru avec cette vitesse.
10^{m},30	19000^{m}
13^{m},30	5600.
16^{m},70	4000.
17^{m},70	400.
20^{m},00	400.

Ces deux dernières vitesses ont eu lieu à la descente libre sur le milieu du plan de Rainhill.

Les circonstances du mouvement étant mieux appréciées avec un dessin, j'ai représenté, *fig.* 97, le profil général du chemin de Liverpool divisé en milles et quarts de mille anglais indiqués par des chiffres au-dessus et des lignes verticales. Les chiffres au-dessous désignent en mètres les vitesses avec lesquelles ont été parcourues les parties correspondantes du chemin. Des flèches indiquent le sens des voyages. Les vitesses de la ligne supérieure ont été observées par MM. les ingénieurs des ponts et chaussées chargés de visiter les railways d'Angleterre ; les trois autres lignes de vitesses sont les résultats d'observations que j'ai faites conjointement avec M. Zeiller, aspirant.

Vitesses diverses des diligences de Liverpool.

La *figure* 104 représente la partie comprise entre le mille n° 16 et n° $20\frac{3}{4}$, où on a écrit les pentes particulières de chaque quart de mille, lesquelles, soit effet du tassement, soit défaut d'exécution, diffèrent beaucoup de la pente générale ($\frac{1}{849}$) dont elles font partie. Ces détails ont été tirés d'un profil du chemin copié dans les bureaux de la compagnie du railway, et que M. Navier a bien voulu prêter.

L'inspection de ces profils apprend qu'à la rencontre de deux pentes opposées, les vitesses reçoivent quelquefois des altérations contraires à celles qu'on devrait attendre de l'influence des pentes. Ces anomalies apparentes viennent de ce qu'on modère les vitesses en descendant, tandis qu'on cherche à les augmenter en montant.

Plus grande vitesse des locomotives actuelles.

On dit qu'une machine locomotive *seule* a parcouru en 15 minutes une distance de 24,000^{m}, ce qui correspond à 27^{m} de vitesse, ou 24 lieues à l'heure; sur quoi il faut observer que, sur le railway de Liverpool, cette distance comprend nécessairement une montée et une descente, ce qui indique que la vitesse de 27 mètres est moyenne et à peu près la plus grande possible sur une ligne de niveau (1).

Le tracé des chemins de grande vitesse n'est pas susceptible d'autant de combinaisons que celui des chemins où l'on n'emploie que les chevaux, parce que les pentes et les courbes doivent être beaucoup plus douces.

Admission ou exclusion des plans inclinés.

Un point important paraît devoir être décidé avant tout, l'admission ou l'exclusion des plans inclinés. En général, ils demandent beaucoup de temps pour être montés, et par là semblent contraires au but que l'on se propose ; de plus, ils peuvent offrir de grands dangers selon la pente et la longueur. Mais on conçoit que dans certaines localités ils sont inévitables,

(1) Au moment où l'on achevait d'autographier ces leçons, a paru l'ouvrage de M. Poussin, qui rapporte une expérience faite aux États Unis d'Amérique, où une locomotive a pu remorquer un convoi avec une vitesse de 26^{m},9 pendant 13 minutes.

et que dans d'autres ils peuvent simplifier le tracé, diminuer les pentes, raccourcir les distances, et par là compenser avec avantage le temps employé à les monter.

Dans le cas où les plans inclinés seraient admis, examinons les moyens qu'on a de les franchir.

Le premier est l'emploi d'une machine à vapeur fixe établie au sommet du plan. A ce sujet, nous ferons observer qu'après les discussions des ingénieurs anglais sur le choix des machines fixes ou locomotives pour parcourir le chemin de Liverpool, la préférence fut accordée aux locomotives, et qu'elles sont employées actuellement à remonter les plans de Sutton et Rainhill inclinés à $\frac{1}{89}$ et $\frac{1}{96}$. Cependant aujourd'hui on fait pénétrer dans l'intérieur de Liverpool, pour l'usage des voyageurs, un tunnel de 1,900^{m} incliné de $\frac{1}{50}$, et on est décidé à y employer une machine fixe comme au grand tunnel où passent les marchandises. On peut donc inférer de là que la compagnie reconnaît qu'au commencement d'une ligne de grande vitesse, un plan incliné doit être parcouru au moyen d'une machine fixe de preférence aux locomotives. Peut-être aussi a-t-elle craint pour les voyageurs l'action des gaz de la combustion et de la vapeur, qui pourraient envelopper les diligences pendant le trajet du souterrain; ainsi qu'on le voit pour le bateau *Toueur* dans le tunnel du canal Régent.

Machine fixe préférée pour monter un plan incliné.

Machines de renfort.

On peut aussi remonter les plans inclinés qui ont $\frac{1}{70}$ de pente ou moins, par l'addition d'une machine de renfort placée à l'arrière du train; elle en pousse la moitié, tandis que la machine ordinaire tire l'autre moitié. Pour que la machine d'arrière accoste le train sans accident, il faut ralentir la marche et prendre quelques précautions qui font perdre du temps.

Enfin, on peut franchir un plan incliné sans trop de lenteur, s'il est possible d'y arriver avec une grande vitesse. En profitant de l'impulsion acquise, les trains peuvent s'élever jusqu'à une certaine hauteur, sans que le mouvement soit retardé au-dessous de la vitesse moyenne qu'on s'est proposée. Dans ce but, il est avantageux de faire précéder la montée d'une descente, ainsi que cela a lieu au chemin de Liverpool pour le plan de Rainhill.

Vitesse acquise employée à franchir les plans inclinés.

D'après M. Booth, une locomotive tirant un train léger, et arrivant au pied de ce plan avec une vitesse de 8^{m}, atteint le sommet avec une vitesse de 1^{m},60.

D'après les vitesses de la ligne supérieure de la *fig*. 97, le plan de Sutton est monté par les diligences avec une vitesse décroissante, qui se réduit au milieu du plan aux $\frac{4}{11}$ de celle qui a lieu au pied; ainsi en diminuant de

moitié la longueur de ces plans, en supposant une vitesse initiale de 10^{m}, la vitesse au sommet serait de 4 mètres.

Il paraît donc possible de former un chemin de fer de grande vitesse de parties horizontales, ou d'une pente de $\frac{1}{1000}$, réunies par des plans inclinés de $\frac{1}{92}$, de 1200 mètres de longueur, et 13^{m} de hauteur; ils devraient être éloignés les uns des autres de 2000^{m} au moins, afin que les locomotives, après avoir employé leur grande vitesse à monter un plan, pussent acquérir celle qui servirait à franchir le plan suivant. Ce système permet de tracer un railway de 15^{m} de pente sur 3200^{m}; c'est-à-dire $\frac{1}{213}$, et dont les diligences ascendantes feraient près de sept lieues à l'heure.

Les stations d'un tel chemin ne pourraient être placées qu'au sommet des plans inclinés, les pieds de ceux-ci devraient toujours être contigus à des lignes droites.

Les plans inclinés admis ou rejetés, il reste à tracer les lignes intermédiaires ou la seule et principale ligne. Pour cela, il faut arrêter deux bases indispensables, l'une relative aux pentes, l'autre aux changemens d'alignemens.

Des pentes.

Ce n'est qu'avec peu de vitesse que les machines locomotives peuvent remonter des pentes de $\frac{1}{90}$, qui à leur égard prennent le nom de plan incliné, et qui doivent être proscrites des lignes ordinaires. Voici les plus grandes pentes adoptées par les ingénieurs anglais pour les chemins qui doivent être fréquentés principalement par les locomotives de grande vitesse.

Pentes maximum de grande vitesse.

Leeds et Selby.............. $\frac{1}{115}$ projet exécuté,
Dublin et Kingstown......... $\frac{1}{168}$ en construction,
Carlisle et Newcastle......... $\frac{1}{300}$ projet en partie exécuté,
Londres et Brighton......... $\frac{1}{304}$ projet,
Liverpool et Birmingham..... $\frac{1}{390}$ en construction,
Londres et Birmingham...... $\frac{1}{330}$ en construction,
Londres et Bristol........... $\frac{1}{180}$ projet.

Les locomotives du chemin de Liverpool avec charge ordinaire, peuvent remonter sur une pente de

zéro, avec une vitesse de 20 mètres.
$\frac{1}{1086}$....... *Idem*....... 13
$\frac{1}{849}$....... *Idem*....... 11
$\frac{1}{300}$....... *Idem*........ 9
$\frac{1}{96}$........ *Idem*....... 1^{m},60

On peut donc admettre qu'elles marcheraient avec 6^{m},00 de vitesse sur

une pente de $\frac{1}{500}$, *fig.* 105, et c'est la pente maximum qu'on pourrait adopter jusqu'à plus amples renseignemens.

Raccordement des pentes opposées. Lorsque deux pentes en sens contraires seront adjacentes par la partie inférieure, il conviendra de les raccorder par des pentes intermédiaires plus douces, ce qu'on a fait au chemin de Liverpool, pour deux pentes opposées de $\frac{1}{1016}$ et $\frac{1}{96}$, *fig.* 106.

Des courbes. Relativement aux changemens de directions, nous avons à fixer le minimum du rayon des courbes, et c'est ici le lieu de traiter généralement cette question dont nous n'avons encore rien dit, nous réservant d'en parler à l'occasion des chemins de grande vitesse, où elle a le plus d'importance.

Lorsque les deux lignes de rails équidistantes forment des courbes, que nous supposerons des arcs de cercle, il en résulte quelques difficultés dans le roulage.

Vitesses différentes des roues. Si deux roues égales et fixées à un essieu roulent sur un plan, elles décrivent deux droites parallelles; pour que ces droites deviennent deux arcs de cercle tels que ceux des rails, il faut, ou que l'une des roues soit plus grande que l'autre, ou qu'elle tourne plus vite; ces deux conditions n'existant pas dans le roulage des waggons, il faut nécessairement que les deux roues ou une seule, outre l'application sur les rails, glissent et frottent de temps en temps, à peu près comme elles le feraient si elles étaient enrayées.

Frottement qui en résulte. Ce frottement, très préjudiciable aux rails et aux roues qu'il use extraordinairement, ne l'est pas moins au moteur, qui doit fournir un excédant de force pour le vaincre.

Essieu coupé. Un moyen a été proposé pour remédier à cet inconvénient; il consiste à couper l'essieu au milieu, et à ajouter deux coussinets de plus; alors chaque roue tournant avec un demi-essieu, a un mouvement indépendant de l'autre.

Une roue tournant sur le rebord. Un autre moyen consiste à placer intérieurement aux rails de grand rayon une partie plane, qui s'élève par une faible pente au niveau du dessus du rail; le rebord monte sur ce petit plan, et la roue tourne sur le rebord, au lieu de porter sur la jante : elle se trouve dans le cas d'une roue d'un plus grand diamètre, et décrit un arc de cercle dont le rayon est égal à

$$\text{voie} + \frac{\text{rayon des roues} \times \text{voie}}{\text{rebord}}\,;$$

donc en donnant ce rapport à la courbe des rails extérieurs, la rotation des roues sera exempte de l'inconvénient qu'on veut éviter : mais il résulte

des dimensions ordinaires de la voie et des roues que ce rayon est très petit (environ 26m,00), ce qui augmente beaucoup la force centrifuge. Aussi ce procédé ne réussit que pour les chemins de très petites vitesses, où les waggons ont peu de tendance à sortir de la voie.

De plus, il faut remarquer que le rebord, étant au-dessus du rail, ne peut plus remplir son office ordinaire, qui est de retenir la roue dans la voie; et pour empêcher les chariots d'en sortir, on est obligé d'établir une pièce quelconque parallèle au rail faisant saillie, et qui maintient la roue en repoussant la jante.

Force centrifuge.

Si les deux procédés dont nous venons de parler mettent les vitesses des roues en rapport avec les longueurs qu'elles doivent parcourir, ils ne remédient point à l'effet de la force centrifuge qui pousse les roues contre le rail de grand rayon, ou, pour mieux dire, l'un ne s'y oppose qu'imparfaitement, et l'autre aucunement.

Rail de grand rayon plus élevé.

Pour détruire cet inconvénient, on élève le rail de grand rayon plus que l'autre d'une hauteur telle que la composante de la gravité, ou du poids des waggons dans le sens de l'inclinaison des essieux soit égale à la force centrifuge, d'où il suit que celle-ci est équilibrée par la tendance qu'a le waggon incliné à tomber sur le rail de petit rayon : mais cette disposition a le grand défaut de ne convenir qu'à une seule vitesse. Pour une vitesse plus faible, le frottement latéral a lieu sur le rail de petit rayon; pour une vitesse plus grande la force centrifuge prédomine, et le rebord des roues touche le rail de grand rayon. Or il y a toujours deux vitesses pour une pente qui doit être parcourue dans les deux sens par le même moteur, puisqu'il ne peut monter aussi vite qu'il descend; d'où il suit que le moyen est inefficace quand on l'applique aux courbes en pente, à moins qu'on ne se résigne à descendre aussi lentement qu'on monte.

L'effet de la force centrifuge est très dangereux, il ne se borne pas au frottement du rebord qui dégrade les roues et les rails; si la vitesse est très grande ou le rayon de courbure très petit, les rebords peuvent monter sur les rails de grand rayon, et rien ne s'opposant à la force centrifuge, les waggons sortent de la voie et même sont quelquefois renversés.

La force centrifuge tend aussi à faire plier les rails transversalement en les poussant dans un sens où ils offrent moins de résistance.

Plus petits rayons des courbes des chemins de fer.

Les plus petits rayons adoptés dans les courbes des chemins de fer exécutés, sont :

Sunderland............	100m.	St-Etienne à Andrezieux.	30m.
Darlington............	500.	Lyon................	500.
Liverpool et Manchester.	1,327.	Roanne..............	200.
Runcorn-Gap.........	230.	Epinal..............	350.
Warrington...........	2,000.		

Et dans les chemins de fer en construction ou en projet :

Leeds et Selby.........	1,000m.	Londres à Birmingham..	800m.
Newcastle à Carlisle.....	411.	Londres à Bristol.......	1,218.
Dublin à Kingstown....	380.	Londres à Brighton.....	3,220.
Liverpool à Birmingham.	3,600.		

Rencontre des chemins de grande vitesse avec les railways ou les routes.

Nous finirons ce que nous avons à dire sur les chemins de grande vitesse, en faisant observer que lorsqu'ils rencontrent d'autres railways ou même des routes ordinaires, il faut les faire passer les uns au-dessus des autres, afin que les véhicules qui leur sont propres puissent se croiser au même moment sans danger. Cette précaution négligée au chemin de Liverpool à l'égard de quelques routes, et à tort selon nous, paraît avoir été reconnue indispensable pour les railways fréquentés par les machines locomotives, ainsi que le prouve un article du bill de concession du chemin de Sainte-Hélène-Runcorn, qui prescrit d'établir les rails *dans un tunnel ou sur un pont* à la rencontre du chemin de Liverpool.

Prix approximatifs de quelques chemins de fer.

Prix de quelques chemins de fer.

Chemins de service.

	Le mètre courant.
De Roanne, en fer, une voie..........................	5f,00.
Du pont-canal de Digouin, une voie.....................	7,00.
Du Soccoa (sur chevalets qui ont jusqu'à 7m de haut), une voie.	58,00.

Chemins ordinaires.

	Le mètre courant.
Andrezieux, en fonte, une voie........................	80f,00.
Roanne, en fer, une voie............................	100,00.
Lyon, en fer, une voie..............................	225,00.
Epinac, d'Epinac à Ivry, en fer, une voie................	57,00.

Denain, en fer, une voie.............................. 22^{f},00.
Darlington et Stockton, fonte et fer, une voie............. 82 ,00.
Liverpool et Manchester, en fer, deux voies.............. 410 ,00.
Sainte-Hélène-Runcorn, en fer, une voie. .... 155 ,00.
Boston et Leigh, en fer, une voie........................ 172 ,00.
Leeds et Selby, en fer, deux voies...................... 257 ,00.
Cantorbéry et Whitstable, en fer, une voie................ 138 ,00.
Londres à Birmingham, en fer, deux voies, estimé........... 345 ,00.

TABLE DES MATIÈRES.

FIN.

IMPRIMERIE DE BACQUENOIS, COMM. ET APPERT

rue Christine, n° 2

Pl. II.





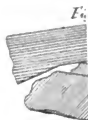


Fig. 8.

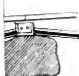
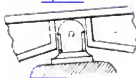




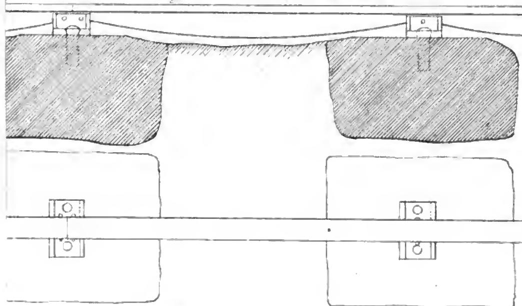


Fig. 11.



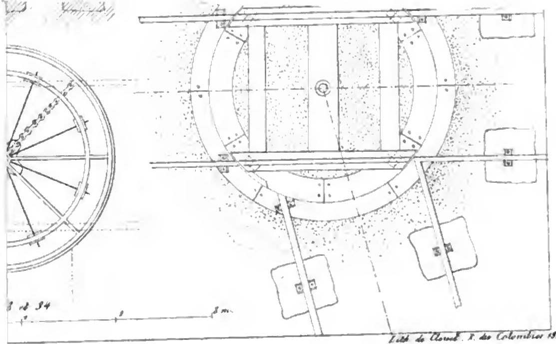


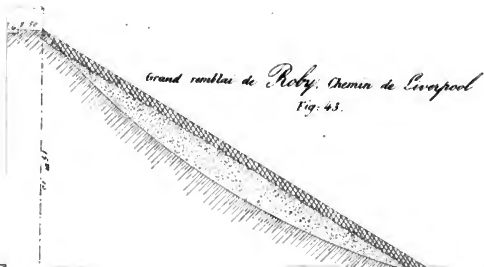
Darlington. Fig 17. Rail en fer



Roanne Fig. 24




3 et 34
3 m.
Lith. de Clouet. R. des Colombier 19.


Grand remblai de Roby. Chemin de Liverpool
Fig: 43.

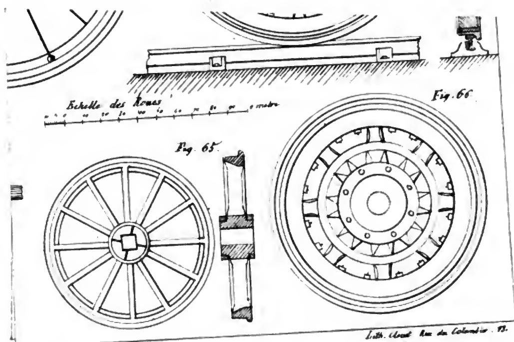
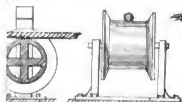

Echelle des Roues
Fig. 66
Fig. 65
Lith. Cloud Rue du Colombier. 13.

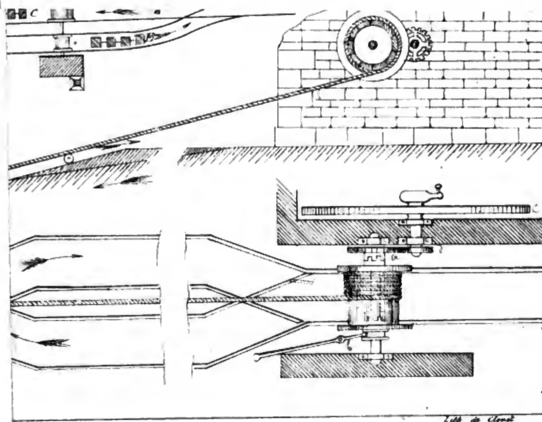
Fig. 74 Brusselton

Fig. 73 Sunderland



...nne

Fig. 78 Liverpool



Pl. VIII.

